



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID
FACULTAD DE MEDICINA
DEPARTAMENTO DE CIRUGÍA

FASCIOTOMÍA SECUENCIAL PARA EL MANEJO DE LA HIPERTENSIÓN ABDOMINAL EN UN MODELO EXPERIMENTAL ANIMAL

TESIS DOCTORAL

Amparo Gómez Cruz

Directores

Dr. Javier López Monclús
Prof. Miguel Ángel García Ureña

Tutor

Prof. Víctor Sánchez Turrión

2017

D. Javier López Monclús, Doctor en Medicina, Facultativo Especialista de Área del Servicio de Cirugía general del Hospital Universitario Puerta de Hierro-Majadahonda.

D. Miguel Ángel García Ureña, Doctor en Medicina y Cirugía, Profesor Titular de la Universidad de Cádiz, Jefe del Servicio de Cirugía General y del Aparato Digestivo del Hospital Universitario del Henares

Certifican:

Que Doña Amparo Gómez Cruz, licenciada en medicina, ha realizado bajo nuestra dirección el trabajo experimental titulado **Fasciotomía Secuencial para el manejo de la Hipertensión Abdominal en un modelo experimental animal**, que ha sido desarrollado en la Unidad de Investigación Médico-Quirúrgica del Hospital Universitario Puerta de Hierro-Majadahonda para optar al grado de Doctor en Medicina.

Dicho trabajo reúne, a nuestro juicio, las condiciones de originalidad y rigor metodológico necesarias para que pueda ser sometido a su lectura y defensa pública ante la comisión correspondiente.

Madrid, a 12 de junio de 2017

Fdo. Dr. J. López Monclús

Fdo. Prof. MA. García Ureña

Agradecimientos

A mi madre, por su dedicación incondicional y enseñarme el valor real de la vida

A mis yayos, por guiarme siempre de su mano y ser ejemplo de humildad, trabajo, bondad y unión

A mi tío, por su apoyo constante e implicación en cada momento importante de mi vida

A mi hermana, por la vida que hemos compartido, y la que compartiremos

A mi marido, por su esfuerzo, su infinita capacidad de trabajo y por el amor que demuestra por su familia

A mis hijos, sois la luz y la razón de mi camino, la esencia de mi vida y la alegría de mi corazón

Esta tesis doctoral surge del interés y dedicación del Prof. García Ureña y del Dr. López Monclús en la patología de la pared abdominal. El desarrollo de nuevas técnicas para el manejo de las eventraciones complejas les ha permitido aplicar en el manejo del paciente crítico parte de su conocimiento, y su inquietud para tratar de mejorar la asistencia en estos pacientes ha originado la presente tesis doctoral. Les agradezco las facilidades dadas para la realización de este trabajo, y su entusiasmo contagioso presente en cada momento.

Así mismo agradezco al Dr. Santos González y al Dr. Tendillo Cortijo del Servicio de Cirugía Experimental del Hospital Universitario Puerta de Hierro la disponibilidad absoluta y la colaboración constante, sin la cual este trabajo hubiera resultado imposible. Por supuesto agradezco también al personal auxiliar del Animalario del hospital su ayuda en el cuidado de los animales empleados en el experimento.

Por último gracias a todos aquellas personas que habéis marcado mi camino en la medicina y en la vida. Gracias.

Índice

Índice	3
1. Resumen	6
1.1. Introducción	7
1.2. Materiales y métodos.....	7
1.3. Resultados	¡Error! Marcador no definido.
1.4. Conclusiones	8
1.5. Palabras clave	8
2. Introducción.....	9
2.1. Anatomía de la pared abdominal	10
2.2. Anatomía comparada de la pared abdominal del cerdo	14
2.3. Fisiopatología de la hipertensión abdominal	18
2.4. Hipertensión abdominal y síndrome compartimental abdominal ¡Error! Marcador no definido.	
2.5. Tratamiento de la HIA / SCA	22
2.6. Manejo y morbilidad del abdomen abierto.....	23
2.7. Evitando el abdomen abierto: la fasciotomía descompresiva.....	28
3. Hipótesis	32
3.1. Hipótesis nula (H0)	¡Error! Marcador no definido.
3.2. Hipótesis alternativa (H1)	¡Error! Marcador no definido.
4. Objetivo	34
5. Materiales y métodos	36
5.1. Animales	37
5.2. Personal.....	37
5.3. Preparación de los animales	38

5.4. Modelo de hipertensión abdominal.....	¡Error! Marcador no definido.
5.5. Técnica quirúrgica	40
5.6. Secuencia experimental	41
5.7. Parametros analizados	42
5.8. Análisis estadístico	43
6. Resultados	44
7. Discusión	50
7.1. Efectividad de las fasciotomías en el manejo de la HIA/SCA.....	51
7.2. Consecuencias funcionales de las fasciotomías	53
7.3. Nuevos conceptos: Importancia de la compliance abdominal.....	55
7.4. Modelos experimentales de HIA.....	56
7.5. Aplicación clínica de los resultados de nuestro estudio	57
7.6. Limitaciones del estudio	59
8. Conclusión	60
9. Bibliografía.....	62
Anexo I: Secuencia fotográfica del experimento	69

1. Resumen

1.1. Introducción

El desarrollo de la hipertensión abdominal mantenida y el posterior síndrome compartimental abdominal (SCA) asociado ensombrece el pronóstico del paciente crítico. El tratamiento quirúrgico estándar de estos cuadros en caso de refractariedad al tratamiento médico consiste en la realización de un laparostoma dejando un abdomen abierto con un cierre temporal asociado. Esta maniobra se asocia a una tasa elevada de morbilidad, un manejo hospitalario complejo y prolongado, y una morbilidad diferida de la pared abdominal elevada por su alta asociación al desarrollo de una hernia incisional. La aplicación de técnicas de fasciotomía desarrolladas para la reconstrucción abdominal en eventraciones complejas podría permitirnos manejar estos cuadros evitando la morbilidad y el gasto asociado a la realización de una laparostomía. La anatomía de la pared abdominal anterolateral del cerdo es muy similar a la del humano, y le convierten en un modelo idóneo para el desarrollo experimental de estas técnicas.

1.2. Materiales y métodos

Estudio prospectivo experimental animal, empleando cerdos adultos de entre 20 y 25 kilogramos de peso. Los animales fueron sedados, relajados e intubados orotraquealmente. La creación del modelo mecánico de HTA se realizó mediante la realización de neumoperitoneo con aguja de Veres a nivel del hipocondrio izquierdo del cerdo, con monitorización invasiva de presión venosa yugular, presión arterial femoral, frecuencia cardíaca, presión intravesical, presión venosa femoral, presión intraperitoneal, y volumen Tidal pulmonar. La ventilación se realizó con una presión constante de 20 mmHg y una PEEP de 5 mmHg.

Tras el mantenimiento del neumoperitoneo a una presión abdominal constante de 20mmHg durante 5 minutos, se procedió a la medición basal de los parámetros descritos. A continuación se realizó la fasciotomía con abordaje de mínima invasión del oblicuo externo izquierdo, con medición de los parámetros

tras la fasciotomía. A los 2 minutos se realizó la fasciotomía del oblicuo externo derecho con nueva medición de parámetros tras esta. Una vez realizadas estas dos fasciotomías, se volvió a subir la presión del neumoperitoneo a 20 mmHg con medición de parámetros a los 5 minutos de la insuflación. Tras ello se realizó la fasciotomía de la línea alba mínimamente invasiva con medición posterior de los parámetros descritos.

1.3. Resultados

Se incluyeron un total de 10 cerdos. Tras el establecimiento de la PIA en 20 mmHg se procedió a realizar la primera fasciotomía a nivel de músculo oblicuo externo izquierdo y posteriormente a nivel del derecho, con un descenso secuencial en los valores de PIV media a 16.6 y 13.0 mmHg respectivamente ($p<0.001$), de PVF media a 16.8 y 13.1 mmHg ($p<0.001$). Tras el restablecimiento de la PIA en 20 mmHg se realizó la fasciotomía de la línea alba, con un descenso de la PIV media a 10.71 mmHg y de la PVF a 10.57 mmHg ($p<0.001$). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el resto de parámetros evaluados

1.4. Conclusiones

La fasciotomía secuencial de oblicuo externo derecho, oblicuo externo izquierdo y de la línea alba con abordaje abierto mínimamente invasivo permite manejar adecuadamente un cuadro simulado de hipertensión abdominal en un modelo porcino, con una disminución significativa de la presión abdominal tras cada fasciotomía.

1.5. Palabras clave

Hipertensión abdominal. Síndrome compartimental abdominal. Fasciotomía.

2. Introducción

2.1. Anatomía de la pared abdominal

La pared abdominal del hombre se compone desde su capa más externa hasta la más interna de: piel, tejido subcutáneo, plano musculo aponeurótico, tejido preperitoneal y peritoneo (1). A nivel del plano musculo aponeurótico podemos diferenciar 4 grandes grupos musculares: El dorsal (en relación con la musculatura erectora de la espalda, el serrato y el dorsal ancho), el laterovertebral (que incluye al psoas iliaco y al cuadrado lumbar), el ventrolateral (incluyendo a los músculos oblicuos externo e interno, el músculo transverso del abdomen, el recto anterior del abdomen y el músculo piramidal), y el límite superior constituido por el diafragma. En relación al tema que vamos a desarrollar en esta tesis doctoral, incidiremos a continuación en las estructuras más relevantes de la pared abdominal anterolateral:

2.1.1. Músculo oblicuo externo:

- El más externo de los músculos de la pared lateral del abdomen, originado en la cara anteroinferior de los siete últimos arcos costales, de dirección inferomedial sus fascias originan una aponeurosis que se fusiona a partir de la línea semilunar con la aponeurosis superficial del oblicuo interno. A nivel de la línea media se fusiona y decusa con el contralateral, formando parte de la línea alba.

2.1.2. Músculo oblicuo interno

- Se encuentra profundo al oblicuo externo, separado de este por un tejido areolar laxo avascular (figura 1). Se inserta en la cresta iliaca, espina iliaca anterosuperior y la fascia iliaca. Sus fibras musculares discurren en dirección superior y medial, perpendiculares a las fibras del oblicuo externo, hasta insertarse en la cara anterior de las costillas 10^a-12^a, la línea alba y el pubis. A nivel de la línea semilunar se transforma en una aponeurosis que en los dos tercios superiores del músculo recto abdominal se divide en una hoja anterior y una hoja

posterior. En la parte más inferior se une con las fibras del transverso abdominal para originar el tendón conjunto.

2.1.3. Músculo transverso del abdomen

- Se sitúa profundo al músculo oblicuo interno y superficial al plano peritoneal. Sus fibras se originan en la fascia toracolumbar, en la cresta iliaca, en el ligamento inguinal, y en la cara interna de las seis últimas costillas en una zona de decusación muscular con fibras de inserción de diafragma. Sus fibras discurren perpendiculares a la línea media actuando como una auténtica cincha abdominal. Se inserta en línea alba como una extensa aponeurosis en los dos tercios superiores de la hoja posterior de la vaina de los rectos, y anterior a estos músculos rectos en el tercio inferior. A diferencia del plano avascular existente entre oblicuos, entre el músculo transverso y el oblicuo interno existe una cierta fusión en relación al trayecto de los pedículos neurovasculares dorsales desde T7 hasta T12 que van a discurrir hasta la hoja posterior de la vaina de los rectos para perforarla hacia la superficie e inervar al músculo recto abdominal (figura 2).

2.1.4. Músculo recto abdominal

- Se trata de un músculo alargado y poligástrico que discurre desde la parte inferior del tórax hasta el pubis, en paralelo a la línea alba. Se inserta en la cara anterior de los cartílagos costales desde el 5º al 7º, en el xifoides y en el ligamento costoxifoideo, y distalmente en el borde anterosuperior del pubis. El músculo queda estuchado por las hojas anteriores y posteriores de la vaina de los rectos excepto en su tercio inferior, donde como hemos dicho antes sólo queda cubierto por delante.

2.1.5. Vaina de los rectos y línea alba

- Existe una continuidad entre las aponeurosis de los músculos oblicuos y transverso de un lado con las contralaterales. Dado que los

músculos rectos abdominales están en la zona paramedial del abdomen, para mantener su continuidad deben rodearlos, creando así la vaina de los rectos. En línea media las aponeurosis se fusionan y decusan para formar la línea alba. La aponeurosis del músculo oblicuo externo está anterior en todo su trayecto sobre los músculos rectos, la del oblicuo interno se divide en una capa anterior y otra posterior en los 2/3 superiores y una sola capa anterior en su tercio inferior. La aponeurosis del transverso se encuentra posterior en los 2/3 superiores y anterior en el inferior. Respecto a la anatomía de la línea alba, en el año 1977 el profesor Askar publicó un estudio anatómico en cadáveres describiendo tres patrones de decusación de las fibras de los rectos a nivel de la línea alba. En el 60% de los casos las líneas de decusación anteriores y posteriores eran triples, en el 30% únicas, y en un 10% la línea anterior única y la posterior triple (2), asumiéndose en el segundo grupo una predisposición constitucional al desarrollo de hernias de línea media. No obstante, estudios anatómicos posteriores no han logrado identificar estos diferentes niveles de entrecruzamiento(3). En línea media, profundo respecto a la línea alba, podemos encontrar un trayecto bien definido de grasa preperitoneal que a nivel craneal se continua con el ligamento redondo del hígado, lo que hace que el espacio posterior a la línea alba sea fácilmente disecable.



Figura 1. Diseción en cadáver humano descongelado. Espacio areolar avascular existente entre el músculo oblicuo externo (elevado por las pinzas) y el músculo oblicuo interno (deprimido por las manos del cirujano).

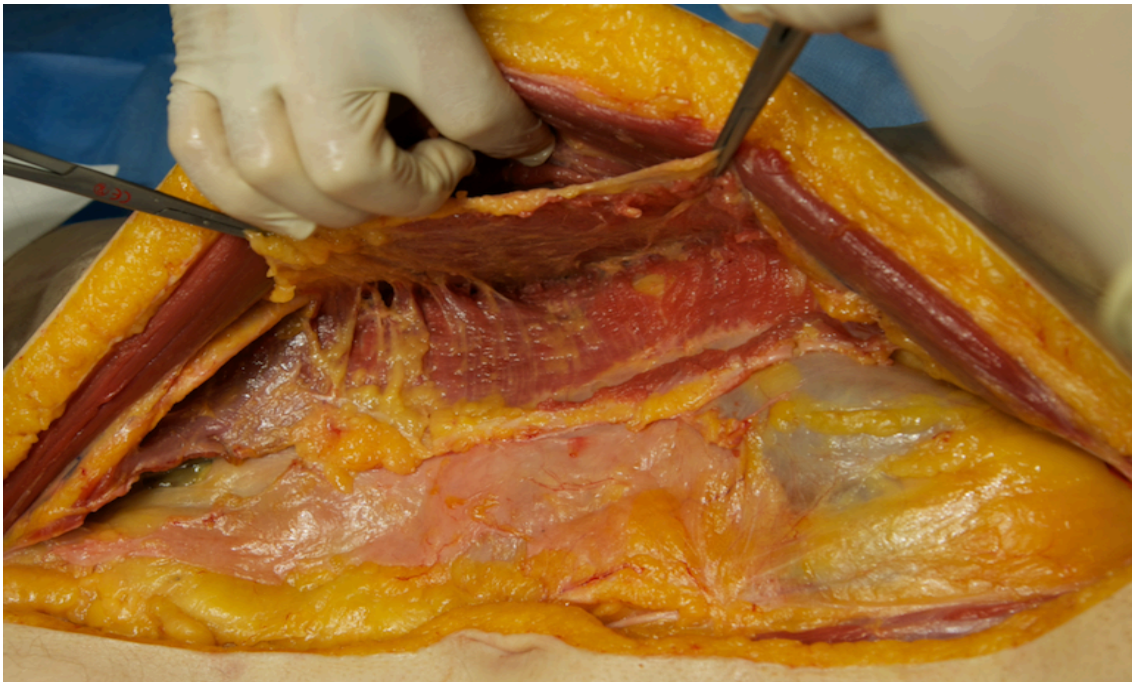


Figura 2. Diseción en cadáver humano descongelado. Musculatura anterolateral de la pared abdominal. Se aprecia levantado por la mano del cirujano el músculo recto abdominal en continuidad con el músculo oblicuo externo, profundo a este referenciado por pinzas el músculo oblicuo interno. Más profundo el músculo transverso del abdomen con la dirección perpendicular a la línea media de sus fibras y los pedículos neurovasculares dorsales en íntima relación con transverso y oblicuo interno. Más profundo se expone el plano preperitoneal avascular profundo.

2.2. Anatomía comparada de la pared abdominal anterolateral del cerdo

De acuerdo a las disecciones animales realizadas por nuestro grupo, podemos considerar que la pared abdominal del cerdo se aproxima anatómicamente a la pared abdominal del hombre, con características similares a las expuestas en el punto anterior.

A nivel paramedial podemos encontrar dos músculos rectos longitudinales que reciben su vascularización a través de perforantes equivalentes a los pedículos retromusculares presentes en el humano (figura 3).

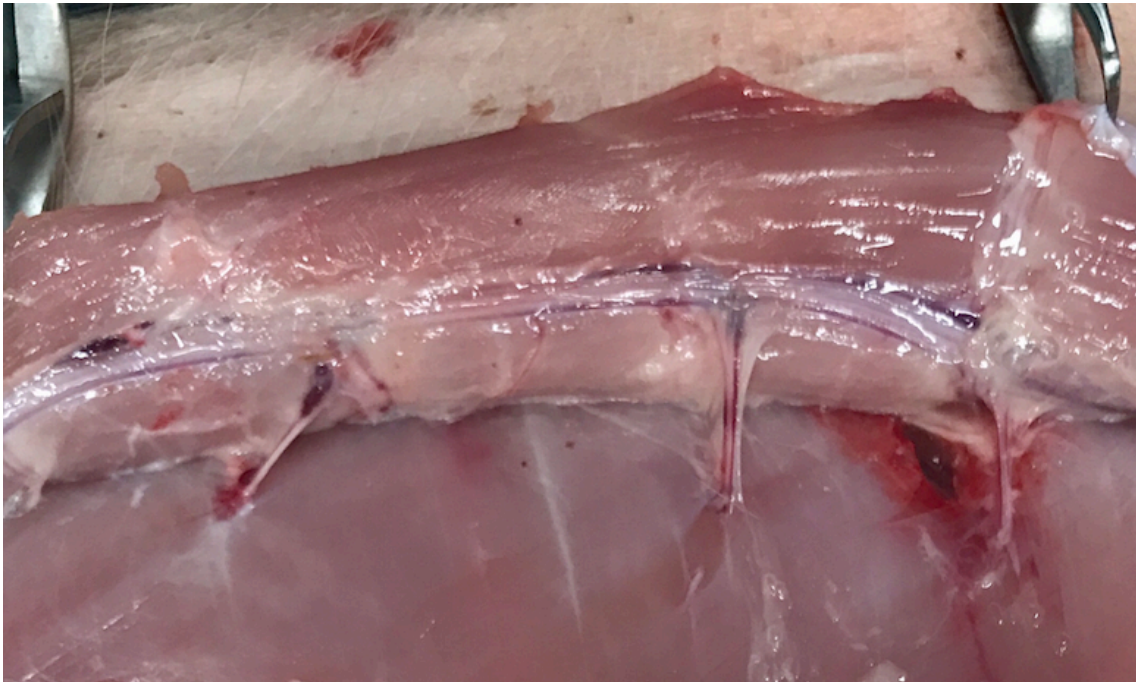


Figura 3. Disección en cerdo cadáver. Músculo recto abdominal irrigado por vasos epigástricos profundos a nivel retromuscular.

Tras la disección del tejido celular subcutáneo del cerdo, a nivel lateral podemos encontrar un músculo plano equiparable al músculo oblicuo externo del humano, con la única peculiaridad de que la disposición de las fibras serían de dirección caudocraneal (figura 4). Profundo a este volvemos a encontrar un espacio avascular areolar separando al oblicuo externo de oblicuo interno, con

las fibras discurrendo en dirección craneocaudal perpendiculares a las fibras del oblicuo externo (figura 5).



Figura 4. Diseción en cerdo cadáver tras práctica laparoscópica (se aprecian orificios de trocar). Tejido celular subcutáneo disecado exponiendo las fibras del músculo oblicuo externo.



Figura 5. Diseción en cerdo cadáver tras práctica laparoscópica (se aprecian orificios de trocar). Espacio areolar avascular presente entre músculo oblicuo externo (traccionado hacia arriba por los separadores) y el músculo oblicuo interno.

En un plano más profundo encontraríamos al músculo transverso del abdomen, con fibras perpendiculares a la línea media y con los pedículos neurovasculares dorsales dispuestos en su superficie (figura 6). Al igual que en el humano, en su posición más craneal se inserta en la cara posterior de las costillas inferiores (figura 7).



Figura 6. Diseción en cerdo cadáver tras práctica laparoscópica (se aprecian orificios de trocar). Músculo transverso del abdomen con disposición perpendicular de sus fibras respecto a la línea alba, visualizándose los pedículos neurovasculares profundos que discurren sobre él.

Por último, en el plano más profundo de la pared abdominal lateral del cerdo encontramos un plano preperitoneal avascular muy similar al presente en el hombre. De esta forma tenemos la evidencia anatómica de que en el cerdo, lateral a los músculos rectos abdominales, presenta una estructura muscular de tres capas similar a la que presentamos los seres humanos (figura 8), con un espacio avascular presente entre ambos oblicuos, un espacio vascular presente entre oblicuo interno y transverso del abdomen, y de nuevo otro plano avascular a nivel preperitoneal.

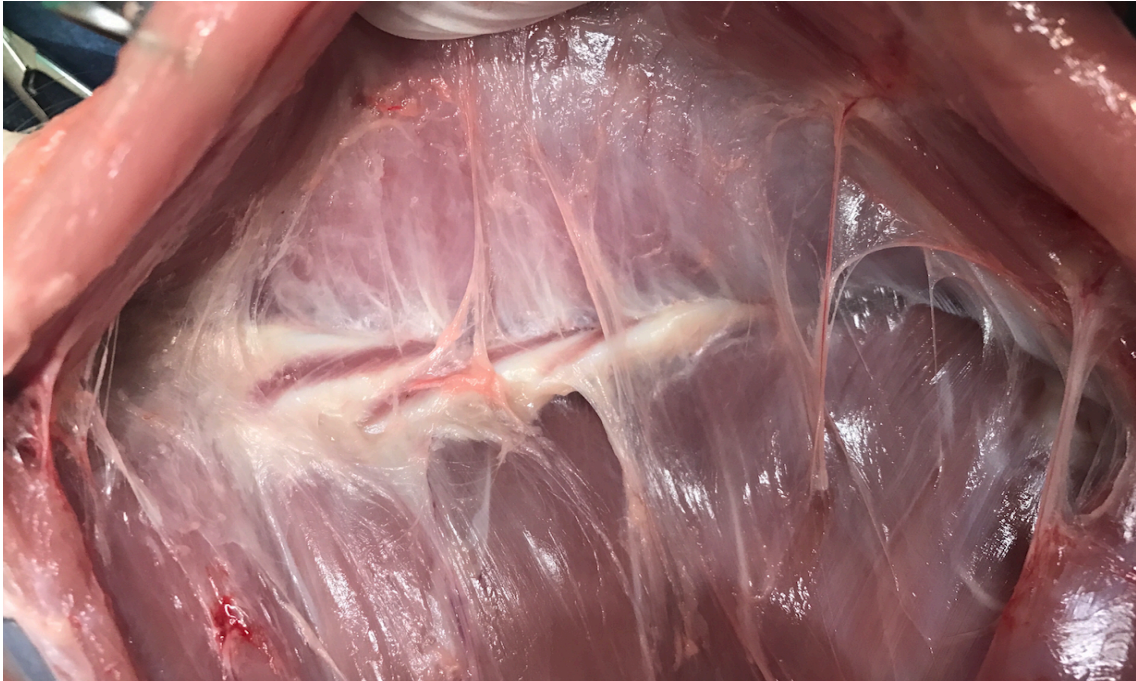


Figura 7. Disección en cerdo cadáver tras práctica laparoscópica (se aprecian orificios de trocar). Detalle de la inserción retrocostal del músculo transverso del abdomen, y de la inserción del oblicuo interno en la cara anterior de las costillas inferiores.

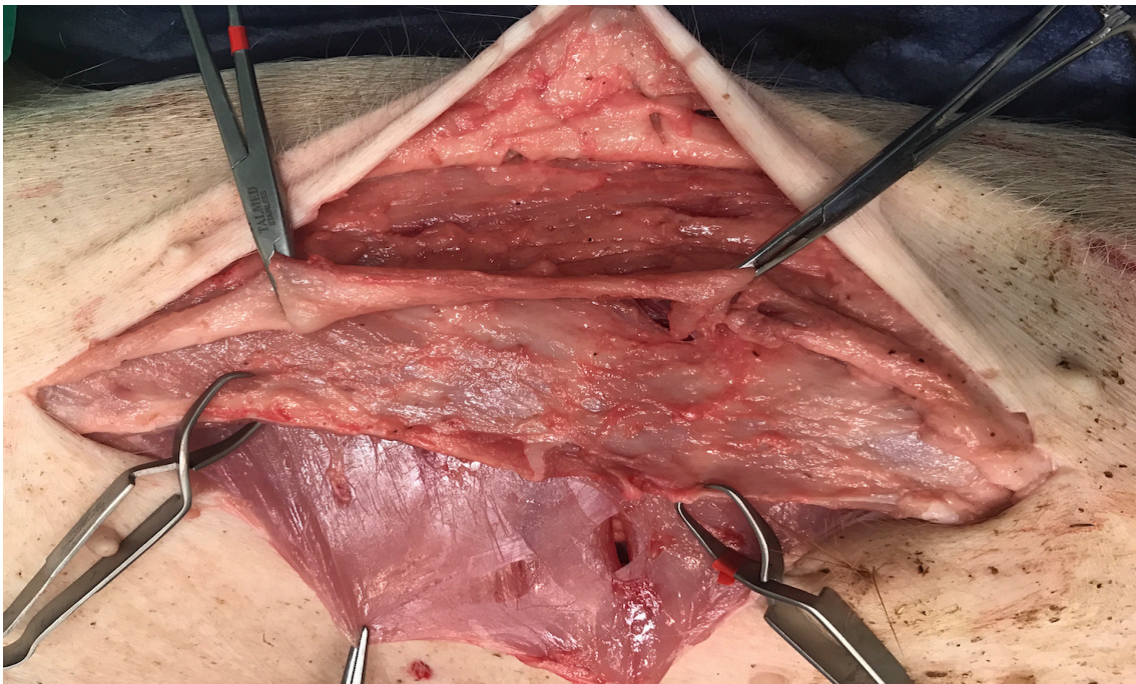


Figura 8. Disección en cerdo cadáver tras práctica laparoscópica (se aprecian orificios de trocar). Exposición de las tres capas musculares presentes en la pared abdominal lateral: Músculo oblicuo externo traccionado hacia arriba por pinzas de agarre, músculo oblicuo interno referenciado por pinzas de cangrejo, y músculo transverso del abdomen traccionado hacia abajo por pinzas de agarre

2.3. Fisiopatología de la hipertensión abdominal

Para entender la importancia de la presión abdominal en la evolución del paciente crítico conviene hacer un pequeño repaso fisiológico acerca de las bases en las que se establece este parámetro (4, 5). La presión intrabdominal depende de la distensibilidad de la pared abdominal y del volumen de los órganos que contiene. En condiciones normales, su valor es subatmosférico. La cavidad abdominal y el retroperitoneo actúan como compartimentos estancos, y cambios en el volumen de su contenido pueden elevar la presión intrabdominal. La pared abdominal tiene una distensibilidad limitada no lineal que depende de la rigidez del peritoneo y de los músculos, y de la relación dinámica entre el volumen y la presión abdominal. Por ello, cambios en la presión de la pared abdominal se van a acompañar de variaciones en el volumen de la cavidad abdominal (figura 9).

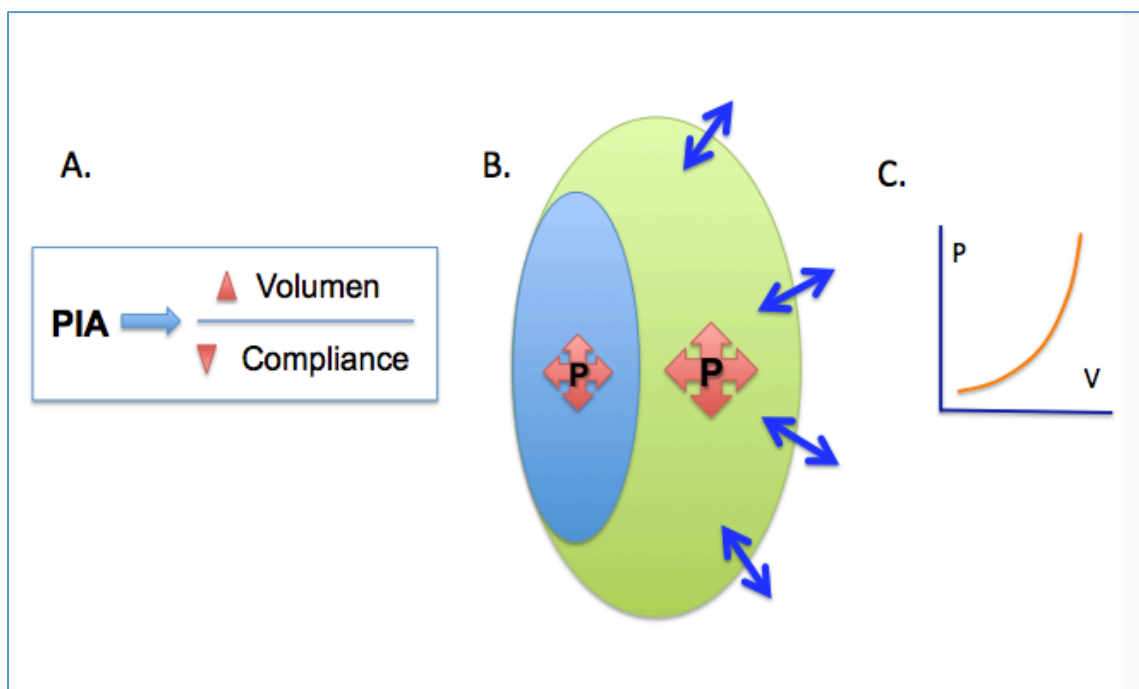


Figura 9. Principios básicos del concepto de presión abdominal. A. Ecuación de relación entre la presión abdominal, el volumen abdominal (directamente proporcional) y la distensibilidad o compliance de la pared abdominal (inversamente proporcional). B. Esquema simple que relaciona presión abdominal, pared abdominal y volumen (óvalo verde cavidad abdominal, óvalo azul retroperitoneo). C. Curva no lineal entre volumen y presión de la cavidad abdominal.

Los aumentos de volumen abdominal pueden deberse a ocupación del retroperitoneo (inflamación del páncreas, colecciones retroperitoneales, inflamación del retroperitoneo, necrosis pancreática, hematomas

retroperitoneales), o a ocupación de la cavidad abdominal (ascitis, edema visceral, ileo paralítico con distensión de las asas por gas, distensión gástrica, distensión colónica, hemoperitoneo, peritonitis...) (6, 7). Así mismo la distensibilidad de la pared abdominal puede verse influenciada por la presencia de edema de pared, y por la disminución de la presión de perfusión. Se ha demostrado que el flujo sanguíneo del recto anterior disminuye un 42% con una PIA de 10 y un 80% con una PIA de 40; por eso se explica la alta tasa de mala cicatrización, alta tasa de dehiscencia fascial y facilidad de fascitis necrotizante en los pacientes críticos (8)

Pero las consecuencias de las variaciones de la PIA no se limitan al compartimento abdominal, sino que originan un problema sistémico (9, 10). El aumento patológico de la presión intrabdominal puede influir de forma directa o indirecta en el resto de sistemas del organismo. A nivel pulmonar se produce una disminución de la *compliance*, hipoxemia e hipercapnia. A nivel cerebral aumenta la presión intracraneal (PIC). A nivel cardíaco se produce una disminución de la precarga y del gasto cardíaco. A nivel renal disminuye el flujo sanguíneo renal y se puede producir un fracaso renal agudo. Y finalmente en el propio compartimento abdominal se produce una disminución del flujo esplácnico, con isquemia intestinal que puede evolucionar a la necrosis y a la translocación bacteriana. Por ello, un aumento de presión intrabdominal mantenido puede desembocar en un fracaso multiorgánico (figura 10).

En definitiva, podríamos interpretar que la repercusión sistémica y el aumento de presión abdominal se convierte en un círculo vicioso, colaborando mutuamente en un empeoramiento progresivo: El aumento de PIA produce compresión de la vena cava, con lo que disminuye la precarga y el gasto cardíaco. Se produce una situación de hipoperfusión sistémica, lo que origina un aumento del tercer espacio y edema. Si a esto le añadimos el exceso de volumen que se perfunde en el paciente crítico durante las maniobras de resucitación, podemos entender que a consecuencia de todo lo dicho se produzca un empeoramiento de la PIA

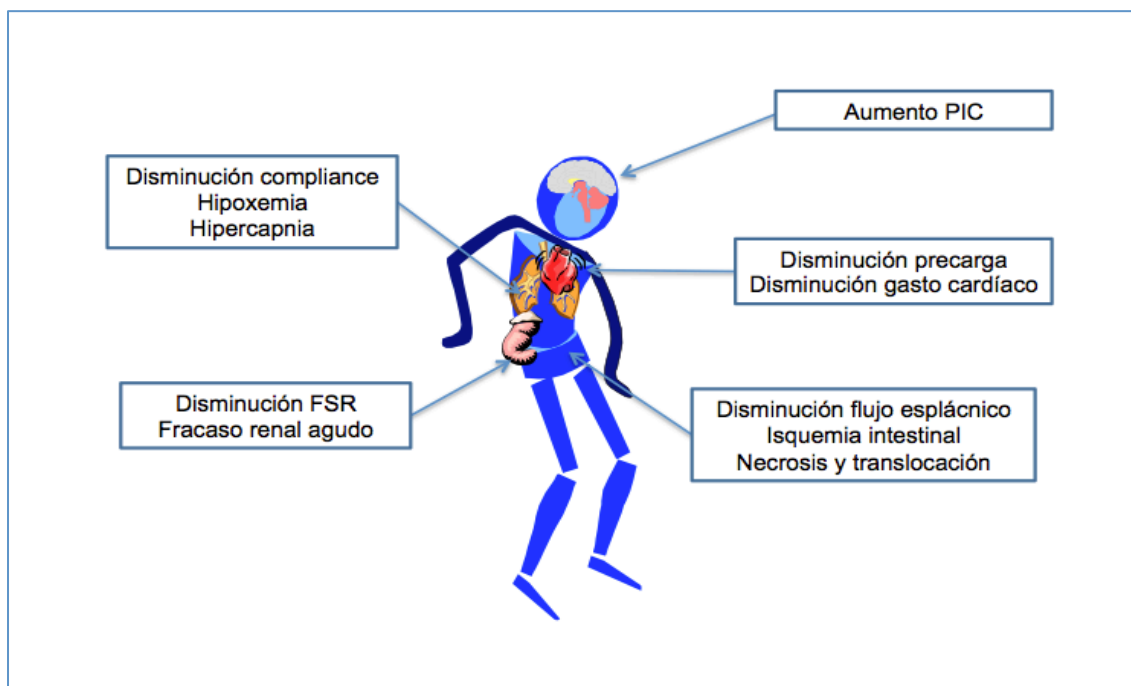


Figura 10. Potencial repercusión sistémica del aumento mantenido de la presión intrabdominal, a nivel torácico, cerebral, retroperitoneal y abdominal.

2.4. Hipertensión abdominal y síndrome compartimental abdominal

La elevación de la presión intrabdominal en el paciente crítico implica un riesgo aumentado de complicaciones y puede desembocar en un síndrome compartimental abdominal (SCA). El SCA se definió por primera vez en 1989 en el contexto de la reparación de un aneurisma aórtico abdominal roto (11). No obstante, el estudio de la medición de la PIA para correlacionar su aumento con las alteraciones orgánicas que presentaban los pacientes críticos medicoquirúrgicos se inició a mediados del siglo XIX (12). La primera medición de la PIA intravesical se realizó en 1984 (13), estableciendo las bases para el manejo médico y quirúrgico tanto de la hipertensión abdominal como del síndrome compartimental abdominal. Pero realmente el punto de inflexión en el que se consolidan las definiciones principales de HIA y SCA es la conferencia consenso que tuvo lugar en Queensland, Australia, en el año 2004. Esta conferencia fue la primera reunión de la *World Society of the Abdominal Compartment Syndrome* (WSACS) y en ella se unificaron definiciones,

conceptos, diagnósticos y tratamiento de estas patologías, recogiendo sus conclusiones en un documento consenso (14).

Las principales definiciones que se propusieron en el año 2004 fueron las siguientes:

1. **Presión intrabdominal (5):** Presión medida en la cavidad abdominal, vía sonda vesical o nasogástrica. El valor medio en paciente crítico es de 5-10 mmHg.
2. **Presión de perfusión abdominal (PPA):** Sería la diferencia entre la Presión arterial media (PAM) y la PIA ($PPA = PAM - PIA$).
3. **Hipertensión intrabdominal (15):** Es la elevación mantenida o repetida de la PIA por encima de 12 mmHg.
 - a. Grado I: PIA 12-15 mmHg.
 - b. Grado II: PIA 16-20 mmHg
 - c. Grado III: 21-25 mmHg
 - d. Grado IV: PIA > 25 mmHg
4. **Síndrome compartimental abdominal (SCA):** PIA > 20 mmHg asociada con disfunción o fallo orgánico.

Los pacientes críticos que desarrollan un SCA tienen un riesgo elevado de mortalidad y deben ser manejados en UCI bajo un estricto protocolo: mecánica respiratoria, perfil hemodinámico, control del relleno intravascular, función renal, datos de laboratorio habituales y específicos, y medida continua de la PIA transvesical o transgástrica.

La forma más estandarizada de medición de la PIA es la medición transvesical. Se coloca en la vejiga una Foley de 16 F y se procede al vaciado del volumen residual mediante compresión suprapúbica (4, 16). Tras su evacuación se introducen 25 cc de suero salino estéril. El paciente debe estar en decúbito supino completo, y al final de la espiración y sin contraer los músculos de la pared, se conecta el sistema a un transductor de presión. Tras purgar el sistema, se toma el cero a nivel de la sínfisis púbica o línea axilar media, registrando los valores de cada medición.

2.5. Tratamiento de la HIA / SCA

El manejo de la HIA / SCA es inicialmente médico(17). Ante un aumento de la PIA por encima de 12 mmHg, se debería monitorizar la PIA e instaurar las siguientes medidas en la unidad de cuidados intensivos (Figura 11):

1. Evacuación de contenidos intraluminales: Colocación de sonda nasogástrica o rectal, empleo de procinéticos, disminuir o suspender el ritmo de nutrición enteral, administración de enemas de limpieza o incluso la realización de una colonoscopia descompresiva.
2. Evacuación de contenidos intrabdominales: Tras la realización de una prueba de imagen para su correcta definición, estaría indicado realizar el drenaje percutáneo de estas colecciones.
3. Mejorar la distensibilidad de la pared abdominal: Es necesaria una correcta analgesia y sedación del paciente, evitando el uso de apósitos compresivos abdominales. Se debe evitar colocar al paciente en decúbito prono, y se debe elevar el cabecero de la cama del paciente a 20°. El empleo de bloqueantes neuromusculares es un tema a debate, pero puede ser necesario su uso.
4. Optimizar la resucitación con fluidos: Debe evitarse el exceso de sueros, buscando la situación de balance 0 al tercer día de ingreso. Se deben usar soluciones hipertónicas y colides. Es necesario forzar la diuresis del paciente e incluso la colocación de un hemofiltro.
5. Optimizar la perfusión sistémica: La resucitación con sueros debe ser dirigida al objetivo. Se deberían buscar unas PPA mayores de 60 mmHg y realizarse la resucitación monitorizada. La PPA es estadísticamente superior respecto a otros objetivos de resucitación (lactato, diuresis, déficit de bases). La imposibilidad de mantener PPA > 60 en día 3 se ha descrito como un factor independiente de mortalidad.

Si pese al establecimiento de todas las medidas descritas la PIA empeora o se establece un SCA, estaría indicado el tratamiento quirúrgico del paciente mediante la realización de una laparostomía descompresiva.

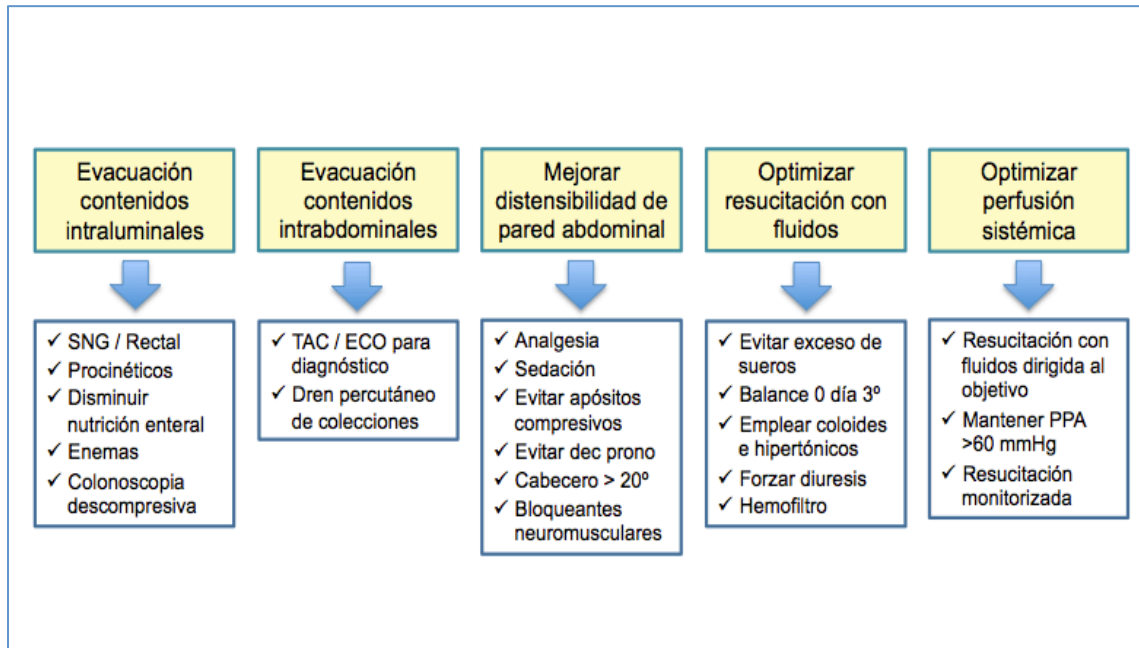


Figura 11. Recomendaciones de la WSACS de manejo médico del paciente con una hipertensión abdominal o síndrome compartimental abdominal.

Pese a que la indicación clásica del laparostoma descompresivo es la presencia de un síndrome compartimental bien establecido, parece que la tendencia está cambiando. Durante los primeros años del siglo XXI la tendencia era indicar la cirugía con el dato objetivo de presentar una disfunción orgánica establecida, consiguiéndose disminuciones significativas con esta técnica de la PIA y de los parámetros fisiológicos evaluados, pero manteniendo una mortalidad extremadamente alta (18-20). A partir de publicaciones en el siguiente lustro del siglo XXI en los que la indicación de la cirugía se realizaba en fases más tempranas del cuadro, se observó que la mortalidad disminuía de manera significativa cuando la cirugía se realizaba en una situación sin disfunción orgánica establecida (21). Por ello la tendencia en la actualidad es a ser algo más agresivos con esta situación clínica.

2.6. Manejo y morbilidad del abdomen abierto

La primera descripción de abdomen abierto en una peritonitis generalizada fue realizada por McCosh en 1897 (22). El abdomen abierto se ha aplicado en diversos escenarios clínicos, como la sepsis abdominal, el paciente

politraumatizado y la pancreatitis aguda necrotizante (15). Mantener el abdomen abierto implica el uso de un cierre temporal de la pared abdominal, que idealmente debería cumplir las siguientes características (23, 24):

1. Capacidad mecánica suficiente para la contención de las vísceras abdominales
2. Limitar la contaminación
3. Prevenir la evisceración y deshidratación de las asas intestinales
4. Permitir la evacuación de fluidos abdominales
5. Disminuir el edema de asas
6. Prevenir adherencias
7. Permitir el acceso rápido a la cavidad abdominal en caso de que la situación clínica del paciente lo requiera
8. Prevenir la retracción de la pared, ya que ésta dificultará el cierre posterior definitivo del abdomen
9. Ser lo más económica posible

Dado el mal pronóstico de los pacientes que presentan un abdomen abierto mantenido tras múltiples reintervenciones, frecuentemente con fístulas enteroatmosféricas e infección abdominal persistente, el manejo clínico debe ser extremadamente cuidadoso (25). Los métodos mas habituales empleados como cierre temporal serían (26):

1. Cierres cutáneos: Se basan en la fijación de un plástico impermeable aislante a los bordes cutáneos. Incluirían la *towel clip*, la técnica de silo y la bolsa de Bogotá (27), siendo la más extendida esta última. En general se asocian a una tasa más elevada de fístulas enterocutáneas, a una mayor retracción de pared que dificulta el cierre definitivo y a una baja tasa de cierre en el mismo ingreso.
2. Cierres fasciales con mallas: Se interpone un material protésico suturado a los bordes de la malla. Esta malla puede ser absorbible (mallas de ácido poliglicólico o biológicas) o irreabsorbible (PTFE, polipropileno) (28, 29). Inicialmente la malla debe quedar muy holgada para permitir el exudado visceral y prevenir el desarrollo del

SCA. Conforme el edema visceral se va resolviendo la prótesis se va suturando con más tensión facilitando la aproximación fascial durante las reexploraciones abdominales, habitualmente cada 48-72 horas. Estas técnicas se asocian a tasas más altas de cierre primario del abdomen en el mismo ingreso, y a bajas tasas de aparición de fístulas enteroatmosféricas, aunque serían algo mas frecuentes con el uso de mallas absorbibles.

3. Terapias de presión negativa: La primera descripción se realizó en 1995, aislando las vísceras con un apósito plástico fenestrado para protegerlas, un capa intermedia acolchada de compresas con un drenaje conectado a un sistema de vacío, y un apósito estéril impermeable que permitía la realización del vacío en la cavidad abdominal (30). Posteriormente las casas comerciales han desarrollado distintos sistemas de vacío con esponjas especiales que se pueden poner en contacto con las vísceras y con máquinas precisas que permiten adecuar las presiones de vacío a las condiciones del paciente (24) (31). Estas técnicas son caras, pero se asocian a tasas muy bajas de fístulas entéricas y a tasas de cierre aceptablemente altas pese a no tener la firmeza de las mallas para evitar la retracción fascial.

El grupo de trabajo Henares – Puerta de Hierro asocia dos técnicas, la colocación inicial de una malla irreabsorbible suturada a los bordes fasciales del defecto, y la asociación de un sistema de vacío sobre esta que facilite el aspirado de los fluidos abdominales y mantenga en buenas condiciones la piel y el tejido celular subcutáneo con vistas a un probable cierre definitivo durante el mismo ingreso (29). Técnicas similares han sido descritas previamente en la literatura médica (32).

En la tabla 1 se comparan las técnicas cutáneas, los cierres temporales con malla absorbible y reabsorbible y los sistemas de vacío comparando la tasa de cierre primario, la presencia de fístulas enterocutáneas, el desarrollo de SCA

posterior, la retracción de la pared asociada y la posibilidad de drenaje de colecciones.

Tabla 1. Comparativa entre los distintos grupos de técnicas para el cierre temporal abdominal en el manejo del abdomen abierto

	Cierre primario	Fístula EC	SCA	Retracción	Drenaje
Cierres cutáneos	12-82% (media 30%)	0-14,4%	2,3-33%	✓	✗
Mallas Reabsorbibles	18-38%	7-26%	?	✗	✗
Mallas Irreabsorbibles	33-89%	0-18%	0-5%	✗	✓
Sistemas de vacío	33-100%	0-15%	0-1,2%	✗	✓

Pero analizando la morbilidad asociada a los laparostomas, deberíamos valorar también las complicaciones y los gastos sanitarios asociados al cierre definitivo de la pared abdominal. Para entender en qué momento es posible el cierre de la pared es conveniente detenernos para explicar brevemente los procesos locales que tienen lugar a nivel abdominal en el tiempo en que permanece abierta (33). Una vez establecido el laparostoma, dos procesos simultáneos y antagónicos tienen lugar durante las siguientes 2 semanas. Por un lado, disminuye el edema de asas permitiendo la re aproximación de los bordes del defecto; por otro lado, el borde musculofascial se retrae aumentando la solución de continuidad. A partir de la segunda semana, comienza a formarse un tejido de granulación que cubre la totalidad del abdomen expuesto al comienzo de la tercera semana, con adherencias firmes vasculares entre las asas. Este tejido de granulación llega a obliterar el espacio peritoneal, llegándose al abdomen congelado (Figura 12).

De acuerdo con lo expuesto, el periodo para poder plantear un cierre precoz de la pared abdominal sería a lo largo de la segunda semana de evolución del paciente, cuando el edema ha bajado, la pared no se ha retraído en exceso, y

todavía no se ha establecido un tejido de granulación firme que oblitere el espacio entre el peritoneo parietal y visceral. En la década de los 90, y hasta mediados de la década pasada, el momento de elección para plantear la reconstrucción era a partir de los 6 meses del cierre cutáneo, la llamada “hernia planificada”. Quitando los casos excepcionales de los pacientes politraumatizados que evolucionaban bien y se podían cerrar en las primeras dos semanas, al resto de pacientes con abdomen abierto pasado ese tiempo se les realizaba el cierre de piel con vistas a la reconstrucción en otro ingreso.

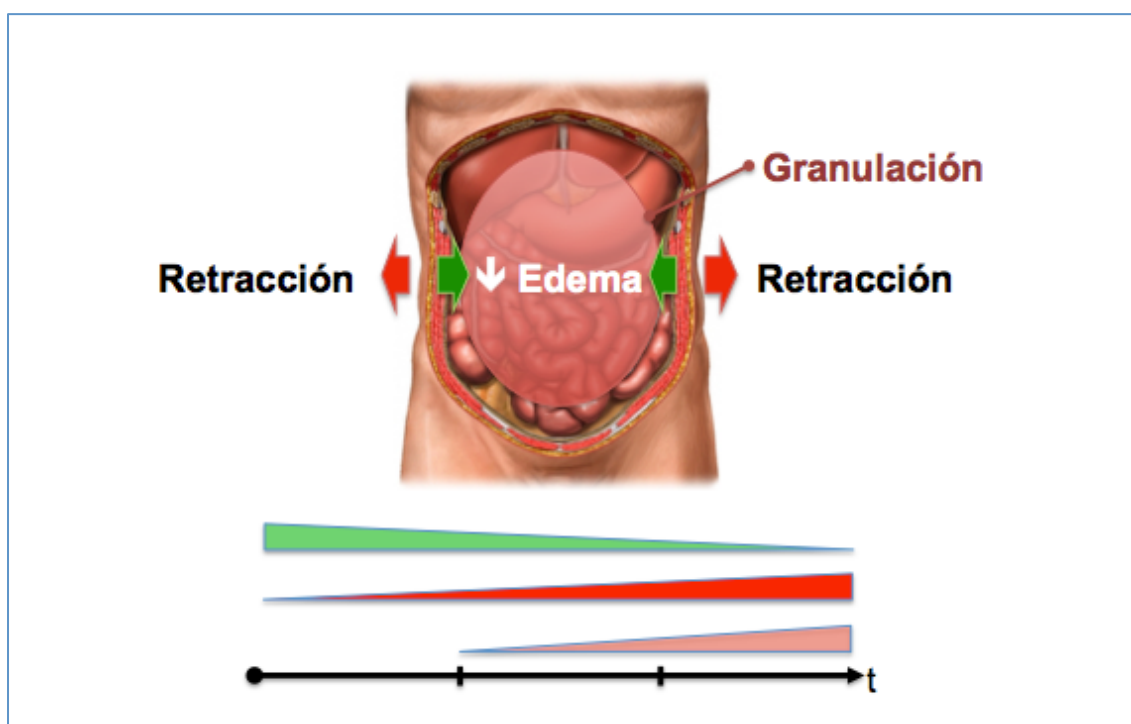


Figura 12. Representación gráfica de la evolución del abdomen abierto en las primeras dos semanas de evolución. En verde se representa el edema visceral, que conforme evoluciona favorablemente la situación clínica del paciente va disminuyendo, y con ello la presión en la pared. En rojo se representa la retracción fascial progresiva por la tracción de la musculatura abdominal lateral, que tiende a aumentar la solución de continuidad del laparostoma en el tiempo. En rosa se representa el establecimiento del tejido de granulación entre asas y entre asas y peritoneo parietal que bloqueará el abdomen a partir del final de la segunda semana.

No obstante, la aplicación en los últimos años de 4 conceptos novedosos ha ampliado este periodo ventana y ha facilitado el aumento drástico de cierres precoces de los laparostomas:

1. Preservar el espacio peritoneal con hiperextensión de la malla o el apósito intrabdominal más allá del borde del laparostoma.

2. Cierre abdominal progresivo mediante el uso de mallas ancladas a los bordes del defecto.
3. Manejo de la herida con sistemas de vacío.
4. Uso de mallas sintéticas de poro ancho, mallas biosintéticas absorbibles y mallas biológicas en el momento del cierre.

A día de hoy, no existe ninguna duda de que el objetivo que debemos perseguir una vez que el paciente con abdomen abierto ha salido de la situación crítica es intentar cerrar el abdomen (33) (34). El abdomen abierto es un “drenaje catabólico” similar a una quemadura extensa, ya que supone un área pérdida de líquido y proteínas, y el proceso de cicatrización consume proteínas y calorías (35). Además el intestino expuesto tiende a la deshidratación, y puede erosionarse y provocar la aparición de fístulas enterocutáneas. Así mismo el paciente laparostomizado consume muchos recursos sanitarios y tiene ingresos muy prolongados. Por todo ello se debe intentar por todos los medios el cierre precoz en el mismo ingreso de estos pacientes.

2.7. Evitando el abdomen abierto: La fasciotomía descompresiva

Según lo presentado en el punto anterior, el abdomen abierto es un arma de doble filo. Por un lado es fundamental para el manejo de la HIA y el SCA en el paciente crítico, pero por otro lado expone al paciente a la aparición de complicaciones e iatrogenia, e incrementa de forma importante el gasto sociosanitario. La pregunta que nos debemos hacer es ¿Existe alguna opción quirúrgica distinta al laparostoma descompresivo asociada a menor morbilidad para el manejo de la HIA refractaria al tratamiento médico?.

El conocimiento de la anatomía y la fisiología de la pared abdominal ha permitido el desarrollo a partir de la segunda mitad del siglo XX de nuevas técnicas para la reparación de defectos herniarios de la pared abdominal. La

primera separación anatómica de componentes empleando la realización de fasciotomías se debe atribuir al cirujano argentino Albanese (36). Posteriormente se describió en el año 1990 la separación anterior de componentes de Ramírez con la realización de fasciotomías de relajación en el músculo oblicuo externo (37). Todas las variantes técnicas descritas a posteriori se basan en los mismos conceptos: las fasciotomías en los planos musculares de la pared abdominal anterolateral disminuyen la tracción lateral y se consigue una relajación que permite medializar los bordes del defecto herniario para su reparación. Parece adecuado pensar que la realización de fasciotomías podría disminuir la presión intrabdominal en el paciente crítico al aumentar la distensibilidad de la pared abdominal, pudiendo evitarse la realización del laparostoma o dejarlo como una opción posterior en caso de mala evolución del paciente.

En el año 2003 Voss et al (38) publica un primer estudio experimental en cerdo planteando el manejo de la HIA mediante la realización de fasciotomías a nivel del músculo oblicuo externo bilateralmente mediante un abordaje endoscópico. Se emplearon 6 cerdos, simulando la situación de SCA mediante la insuflación de helio hasta alcanzar una presión de 25 mmHg. Posteriormente se introdujeron 4 trócares a cada lado, disecando el espacio existente entre el músculo oblicuo interno y el externo. Se realizó una fasciotomía longitudinal del músculo oblicuo externo desde el reborde costal hasta el pliegue inguinal. Se observó una disminución de la presión abdominal estadísticamente significativa de un 31.6%, acompañándose de una mejora en la perfusión vascular mesentérica.

En el año 2004 O'Mara et al (39) publica un segundo modelo experimental de SCA en cerdos, proponiendo su manejo mediante fasciotomías descompresivas realizadas por abordaje abierto. Se emplearon 8 cerdos creando una situación de HIA mediante la infusión peritoneal de SSF hasta alcanzar una PIA de 26 mmHg. La primera incisión la realizaron en la piel, disminuyendo la presión a 21.7 mmHg (± 4.5). La fasciotomía del músculo oblicuo externo la redujo a 18.3 mmHg (± 3.9), la del oblicuo interno a 13.2

mmHg (± 4.0) y finalmente la sección del músculo transverso a 7 mmHg (± 2.5). A nivel del resto de parámetros fisiológicos analizados durante el experimento, sólo se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la disminución de la presión venosa central, y en pico de presión de la vía aérea. De esta forma concluyen que la modificación propuesta de separación posterior de componentes disminuye de manera significativa la presión abdominal en un modelo simulado de SCA.

También en el año 2004 el mismo grupo (40) publica estudio similar experimental en cerdos manejando un modelo experimental de SCA con una modificación endoscópica de la separación posterior de componentes. El SCA se realiza mediante una perfusión de suero salino fisiológico en una bolsa plástica colocada intraperitonealmente, hasta alcanzar una PIA de 25 mmHg. Se dividieron 12 cerdos en dos grupos de 6. Al primer grupo se le realizó una resección mínimamente invasiva de los nervios que inervan bilateralmente los músculos rectos abdominales, y al segundo grupo se le realizó una modificación de la separación de componentes por abordaje endoscópico seccionando las aponeurosis de ambos músculos oblicuos cercanos a su inserción en la vaina de los rectos, y el músculo transverso abdominal seccionándolo a nivel de la línea axilar anterior. El grupo en el que se realizó la denervación de los músculos rectos la PIA se redujo de 25 a 20.3 mmHg (± 1.9), mientras que en el grupo en el que se realizó la separación bilateral de componentes la PIA bajo de 25 a 11.3 mmHg (± 1.4), demostrando así su eficacia. De todos los parámetros fisiológicos que analizaron, sólo se observaron cambios en los valores de presión venosa central.

En base a estos artículos publicados en el primer lustro del siglo XXI, en el año 2006 aparece publicado el primer estudio sobre la realización de fasciotomías en humanos por parte del grupo del finlandés Leppániemi (41). Presenta el manejo de dos pacientes con SCA secundario a pancreatitis aguda necrotizante, mediante la realización de una fasciotomía de la línea alba desde xifoides a pubis, mediante abordaje abierto mínimamente invasivo. Realiza tres incisiones transversas de 2-2.5 cm a nivel epigástrico, infraumbilical y

supraumbilical, desde las que accede a la línea alba seccionándola por tramos en toda su longitud. En ninguno de los dos casos se produjo apertura del peritoneo. Los dos pacientes presentaron una disminución significativa de la PIA, y en los días siguientes la situación de HIA se resolvió en su totalidad, evitándose la realización de una laparostomía descompresiva.

El mismo grupo presenta en el año 2009 los resultados de la fasciotomía anterior de la línea alba aplicada en 10 pacientes con SCA (42). Los 10 pacientes presentaban una PIA media de 31 mmHg (rango 23-45), con una PIA media tras la realización de la fasciotomía estadísticamente significativa de 20 mmHg (rango 10-33) y una disminución media de 10 mmHg (rango 2-17). La fasciotomía fue el tratamiento definitivo en 7 pacientes, pero en 2 de ellos se desarrolló un SCA recurrente y fue necesaria la realización de una laparostomía descompresiva.

En base a la escasa evidencia experimental y clínica publicada hasta la fecha, parece que el abordaje de la HIA y el SCA mediante fasciotomías de mínima invasión puede plantearse como una opción válida inicial, sin interferir en que a posteriori se pueda realizar un laparostoma en caso de que la evolución clínica del paciente así lo precise.

3. Hipótesis

La hipótesis de este trabajo es que la realización de manera secuencial de fasciotomías con abordaje abierto mínimamente invasivo a nivel de los músculos oblicuo externo derecho, oblicuo externo izquierdo y de línea alba permite disminuir de manera significativa la presión abdominal en situaciones de hipertensión abdominal mantenida. De esta forma se podría plantear como una opción inicial para el manejo de esta situación en lugar de la realización directa de un laparostoma para el control de este cuadro.

3.1. Hipótesis nula (H0)

La realización de fasciotomías secuenciales a nivel de los músculos oblicuos externos y de línea alba no disminuye de manera significativa la presión abdominal en un modelo porcino de hipertensión abdominal mantenida.

3.2. Hipótesis alternativa (H1)

La realización de fasciotomías secuenciales a nivel de los músculos oblicuos externos y de línea alba disminuye de manera significativa la presión abdominal en un modelo porcino de hipertensión abdominal mantenida.

4. Objetivo

El objetivo de esta tesis doctoral es demostrar en un modelo experimental porcino que la realización fasciotomías secuenciales con abordaje abierto mínimamente invasivo a nivel de los músculos oblicuo externo derecho, oblicuo externo izquierdo y de línea alba permite disminuir de manera significativa la presión abdominal en situaciones de hipertensión abdominal mantenida.

5. Materiales y métodos

5.1. Animales

Estudio prospectivo experimental animal, empleando cerdos adultos cruce de las razas Landrace y Large-White con un peso medio de 22 kg \pm 1.5 (DS). Todos los animales fueron tratados a las normativas europeas y nacionales sobre el cuidado y la protección de los animales de experimentación (Directiva 2010/63/UE y RD53/2013). Todos los cerdos habían sido empleados en un estudio de neurorradiología aprobado por el Comité Ético de Experimentación Animal y el Órgano Habilitado del Instituto de Investigación Sanitaria Puerta de Hierro y autorizado por el Órgano Competente de la Comunidad Autónoma de Madrid. En ninguno de los cerdos se realizó manipulación a nivel abdominal ni torácico durante el estudio neurorradiológico, y se solicitó nueva autorización para la realización de nuestro estudio previo a su sacrificio.

Durante todo el periodo de cuarentena y alojamiento los animales fueron emplazados individualmente asegurando siempre la disponibilidad de espacio según RD 53/2013. Los habitáculos de emplazamiento fueron de paredes plásticas lisas y suelo de rejilla normalizada. Los animales fueron mantenidos en ciclos de 12 h de luz y 12 h de oscuridad, con una temperatura mantenida entre los 20-24°C y una humedad relativa del 50-60% verificado diariamente. En todos los habitáculos se añadió material de enriquecimiento ambiental, concretamente cadenas y bolas pesadas de material rígido. La limpieza de los habitáculos, alimentación y bebida se realizó diariamente por personal debidamente entrenado y con acreditación A.

5.2. Personal

Todos los procedimientos se llevaron a cabo por personal con experiencia en el manejo de animales de experimentación. La aplicación de todas las técnicas por personal debidamente capacitado y experimentado contribuyó a la reducción del nivel de sufrimiento y de estrés de los animales.

La elaboración del presente proyecto ha seguido rigurosos criterios estadísticos y de diseño experimental para contribuir a la aplicación mínima de procedimientos invasivos o causantes de estrés o sufrimiento. Para ello se ha realizado una minuciosa elaboración del protocolo atendiendo al máximo número de variables controlables para evitar variabilidad y al mínimo número de procedimientos que ofrecen el máximo potencial de resultados posibles. Todo ello dirigido a evitar la repetición o el rediseño del procedimiento una vez comenzado el proyecto.

5.3. Preparación de los animales

Previamente a la realización de los procedimientos, los animales fueron sometidos a un ayuno previo de 8h de comida, pero no de agua.

Todos los animales fueron premedicados mediante la administración intramuscular de una mezcla de ketamina (10 mg/kg) + diazepam (0.5 mg/kg) + morfina (0.5 mg/kg). Después de la inducción anestésica mediante la administración intravenosa de un bolo de 2 mg/kg de propofol a través de un catéter de 18G colocado en la vena marginal de la oreja, se procedió a la intubación endotraqueal con un tubo de 6 mm de diámetro interno, que fue conectado al circuito semicerrado circular de la estación anestésica (Julian®, Dräger Hispania, Spain) para continuar con el mantenimiento anestésico con sevoflurano (2,5%-3%) vaporizado en oxígeno al 100%. Para una completa relajación muscular durante la ventilación mecánica, los animales fueron relajados con un bolo intravenoso de bromuro de vecurino (0.2 mg/kg). Los parámetros del ventilador fueron ajustados en función del peso del animal con el objetivo de mantener unos valores de CO₂ telespiratorio entre 35-45 mmHg, una presión pico de la vía aérea de 20 cmH₂O y una PEEP de 5 cmH₂O. La FIO₂ se mantuvo en 1 durante todo el estudio. Se recogieron las variaciones en el volumen tidal o volumen corriente que mostraba el monitor del respirador. El mantenimiento anestésico se realizó mediante un programa de anestesia inhalatoria con sevoflurano al 2.0% vaporizado en oxígeno.

Los animales fueron colocados en decúbito supino y a través de la vena yugular externa izquierda se colocó un catéter en posición central. Este fue utilizado para la administración intravenosa de anestésicos, solución Ringer Lactato y solución salina, y para la medición de la presión venosa yugular (PVY). Se avanzó un catéter de arterial flexible (PV2014L13; Pulsion Medical Systems Ibérica SL, Spain), dentro de la aorta abdominal a través de la arteria femoral. El catéter arterial fue conectado a un traductor de presión calibrado (PCCO PV8015; Pulsion Medical Systems, Ibérica SL, Spain) para el registro de la temperatura central, la frecuencia cardíaca (FC), y las presiones arteriales sistólica (PAS), diastólica (PAD) y media (PAM), referidas como cero al nivel de la aurícula derecha, mediante un monitor cardiovascular Pulsion PiCCO (Pulsion PiCCO monitor; Pulsion Medical Systems Ibérica SL, Spain). Se realizó la cateterización vesical con un abocath 14F percutáneo conectado a un monitor de presión para la medición de la presión intravesical (PIV). Se canuló la vena femoral para medición de las variaciones en la presión venosa femoral (PVF). El perímetro abdominal se midió con una cinta métrica blanda estándar, marcada en milímetros y centímetros. Todos los cerdos fueron sacrificados al final del experimento durante la anestesia profunda mantenida con una inyección intravenosa de cloruro potásico.

5.4. Modelo de hipertensión abdominal

La creación del modelo de HTA se obtuvo mediante la realización de neumoperitoneo con aguja de Veres a nivel del hipocondrio izquierdo del cerdo. Se empleó un insuflador Stryker (Pneumasure Insufflator, Stryker Endoscopy, Portage, MI) insuflando dióxido de carbono en la cavidad peritoneal hasta alcanzar una presión mantenida abdominal de 20 mmHg. Una vez alcanzada esta presión se mantuvo durante 5 minutos para estabilización de animal. Inmediatamente antes de la realización de las fasciotomías, se procedía a cerrar la llave de paso de la botella de gas para evitar nuevas insuflaciones tras las maniobras quirúrgicas, manteniendo la monitorización de presión abdominal a través de la aguja de Veres.

5.5. Técnica quirúrgica

5.5.1. Fasciotomía de los músculos oblicuos externos:

- A mitad de distancia entre el reborde costal y la flexura inguinal del animal se realizó a 10 cm de la línea media a cada lado una incisión cutánea transversa de 3 cm, disecando el tejido celular subcutáneo hasta alcanzar y exponer la fascia del oblicuo externo en su porción aponeurótica. Se realizó una pequeña incisión en la fascia, confirmando haber alcanzado el espacio avascular entre los músculos oblicuo interno y oblicuo externo, ampliando esta fasciotomía transversa hasta los 2,5-3 cm. Mediante disección roma se procedió a la disección amplia del espacio entre ambos músculos para permitir el deslizamiento de ambos planos musculares entre sí. Medialmente se alcanzó la línea semilunar, cranealmente el reborde costal, lateralmente el equivalente a la línea axilar posterior y caudalmente el ligamento inguinal. Una vez disecado el espacio, se procedió a apoyar la tijera larga de disección con las palas ligeramente abiertas sobre el límite de la incisión fascial, cargando la fuerza del brazo sobre la tijera para realizar la fasciotomía sin perder el plano fascial y alcanzando cranealmente el reborde costal y caudalmente el ligamento inguinal.

5.5.2. Fasciotomía de la línea alba:

- A nivel umbilical en línea media se procedió a realizar una incisión cutánea transversa de 3 cm. Se disecó el tejido celular subcutáneo hasta exponer el tejido conjuntivo denso de la línea alba. Con el bisturí se incidió transversalmente la línea alba hasta exponer la grasa preperitoneal. Mediante disección roma se disecó el espacio preperitoneal periumbilical, para a continuación proceder a apoyar la tijera de disección sobre el borde de la línea alba seccionada y cargar la fuerza del brazo en la tijera para seccionar la línea alba hasta la zona xifoidea a nivel craneal y la zona púbica a nivel caudal.

5.6. Secuencia experimental

Tras el mantenimiento inicial durante 5 minutos de la PIA en una presión de 20 mmHg, se cerró la llave de paso de la botella de dióxido de carbono y se procedió a realizar la fasciotomía del oblicuo externo izquierdo, realizándose las mediciones de los parámetros establecidos. A continuación se realizó la fasciotomía del músculo oblicuo externo derecho, volviendo a medirse los mismos parámetros. Tras la apertura de la llave de paso de la botella de gas a través del insuflador, volvió a establecerse una PIA de 20 mmHg por medio de la aguja de Veres, esperando de nuevo 5 minutos. Pasado ese tiempo se volvió a cerrar la llave de paso del gas y se realizó la fasciotomía de la línea alba, midiendo los parámetros establecidos. En la figura 13 se puede observar la secuencia experimental establecida.

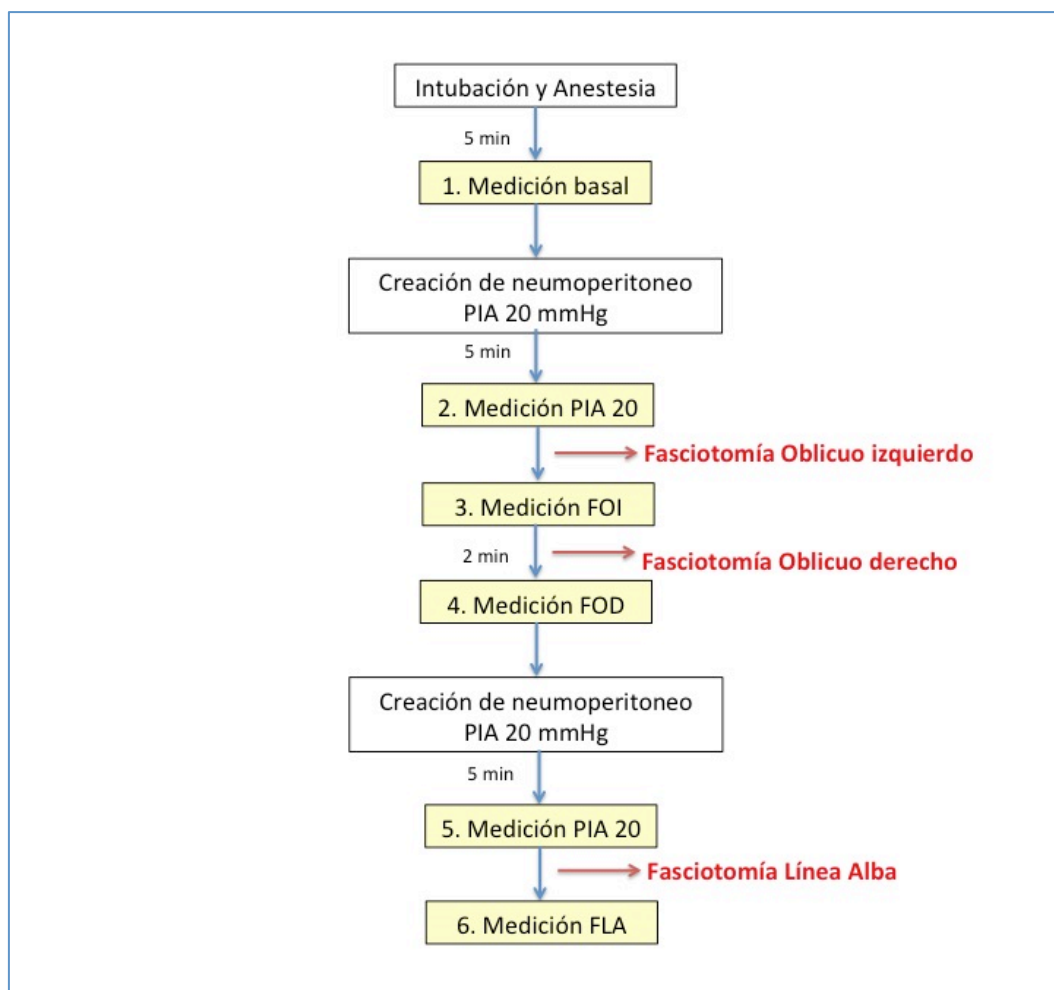


Figura 13. Secuencia de procedimientos realizados en cada animal de experimentación.

5.7. Parámetros analizados

En todas las mediciones realizadas se recogieron las variables FC, PAS, PAD, PAM, PVY, PVF, PIA, PIV, VC y perímetro abdominal. Las características de las variables analizadas se muestran en la tabla 2.

Tabla 2 . Características de las variables analizadas en el estudio

Variable	Naturaleza	Tipo	Unidades
Frecuencia cardíaca (FC)	Cuantitativa	Numérico	lpm
Sexo	Categórica		
Presión arterial sistólica (PAS)	Cuantitativa	Numérico	mmHg
Presión arterial diastólica (PAD)	Cuantitativa	Numérica	mmHg
Presión arterial media (PAM)	Cuantitativa	Numérica	mmHg
Presión venosa yugular (PVY)	Cuantitativa	Numérica	mmHg
Presión venosa femoral (PVF)	Cuantitativa	Numérica	mmHg
Presión intrabdominal (5)	Cuantitativa	Numérica	mmHg
Presión intravesical (PIV)	Cuantitativa	Numérica	mmHg
Volumen corriente (VC)	Cuantitativa	Numérica	mL
Perímetro abdominal	Cuantitativa	Numérica	mm

5.8. Análisis estadístico

De acuerdo a lo publicado por otros grupos previamente en trabajos similares, aceptando un riesgo alfa de 0.05 y un riesgo beta de 0.05 en un contraste bilateral se precisan 10 sujetos para detectar una diferencia igual o superior a 3 unidades (mmHg) en la presión intrabdominal. Se asumió una desviación estándar de 2 y se estimó una tasa de pérdidas en la secuencia de procedimientos del 40% por roturas del peritoneo en el momento de la fasciotomía de la línea alba.

Todas las variables analizadas se presentaron como media \pm error estándar. Para el análisis estadístico se empleó el paquete estadístico SPSS versión 22.0 (SPSS, Chicago, IL, USA). Las comparaciones entre las medias de cada parámetro analizado en cada medición se realizaron usando la prueba de

ANOVA de una sola dirección, con post test de Tukey para comparación de medias entre si. El nivel de significación estadística se estableció en $p < 0.05$.

6. Resultados

Se pudo realizar toda la secuencia prevista de fasciotomías y mediciones en 7 de los 10 cerdos empleados en el estudio (70%). En los 3 animales restantes no se pudo realizar la medición de parámetros tras la fasciotomía de la línea alba por apertura accidental del peritoneo, midiéndose de forma correcta las variaciones tras las fasciotomías de los músculos oblicuos que se habían realizado previamente.

En la tabla 3 se muestran las medias de los parámetros medidos tras cada procedimiento realizado.

Tabla 3. Cambios en los parámetros fisiológicos

	FC (lpm)	TAS (mmHg)	TAD (mmHg)	TAM (mmHg)	PVY (mmHg)	PVF (mmHg)	PIV (mmHg)	VT (ml)	Perim (mm)
Basal	100,0 ±34,7	91,9 ±17,4	54,2 ±16,3	66,6 ±16,5	7,00 ±1,8	8,1* ±1,5	8,0* ±2,2	179,8 ±44,1	635 ±27
PIA 20	108,9 ±35,6	89,9 ±29,5	58,7 ±21,7	69,2 ±24,0	7,20 ±2,1	20,0* ±0,0	20,2* ±0,4	130,9 ±40,5	743 ±41
FOI	116,1 ±36,2	102,6 ±34,2	62,1 ±26,6	78,0 ±26,4	7,40 ±1,7	16,8* ±0,9	16,6* ±1,1	138,1 ±38,9	756 ±37
FOD	120,2 ±44,6	96,6 ±30,4	59,9 ±22,0	71,9 ±24,3	7,20 ±1,8	13,1* ±1,5	13,0* ±1,6	146,3 ±40,3	765 ±36
PIA 20	118,8 ±37,7	98,8 ±27,6	64,7 ±21,3	76,0 ±22,8	7,80 ±0,9	20,0* ±0,0	20,2* ±0,4	132,0 ±38,3	769 ±37
FLA	91,2 ±70,8	90,5 ±32,9	55,0 ±22,1	66,8 ±25,3	7,43 ±1,4	10,6* ±1,4	10,7* ±1,4	141,0 ±38,6	773 ±36

Valores medios ± desviación estándar

FOI, fasciotomía de oblicuo izquierdo; FOD, fasciotomía de oblicuo derecho; FLA, fasciotomía de línea alba; FC, frecuencia cardíaca; TAS, tensión arterial sistólica; TAD, tensión arterial diastólica; TAM, tensión arterial media; PVY, presión venosa yugular; PVF, presión venosa femoral; PIV, presión intravesical; VT, volumen tidal; Perim, perímetro abdominal

*p<0,001

Como se puede observar, se hallaron diferencias estadísticamente significativas en las variaciones de presión intrabdominal reflejadas de manera

indirecta en la PIV y la PVF después de cada fasciotomía ($p<0,001$). En cambio no se hallaron diferencias estadísticamente significativas en el resto de parámetros evaluados, aunque se pudo observar una cierta tendencia a la significación en las variaciones del volumen tidal ($p=0,09$)

De una manera más clara podemos observar en la figuras 13 a 16 las curvas de las medias de las mediciones de perímetro abdominal, volumen tidal , PIV y PVF (como medición indirecta de la PIA de manera similar a la PIV). En las gráficas de PIV y PVF las líneas de variación son superponibles entre sí. En la gráfica del perímetro abdominal observamos como tras cada fasciotomía y con cada aumento de presión peritoneal el perímetro va aumentando. Y de forma inversa el volumen tidal aumenta con cada fasciotomía y disminuye con los aumentos de presión.

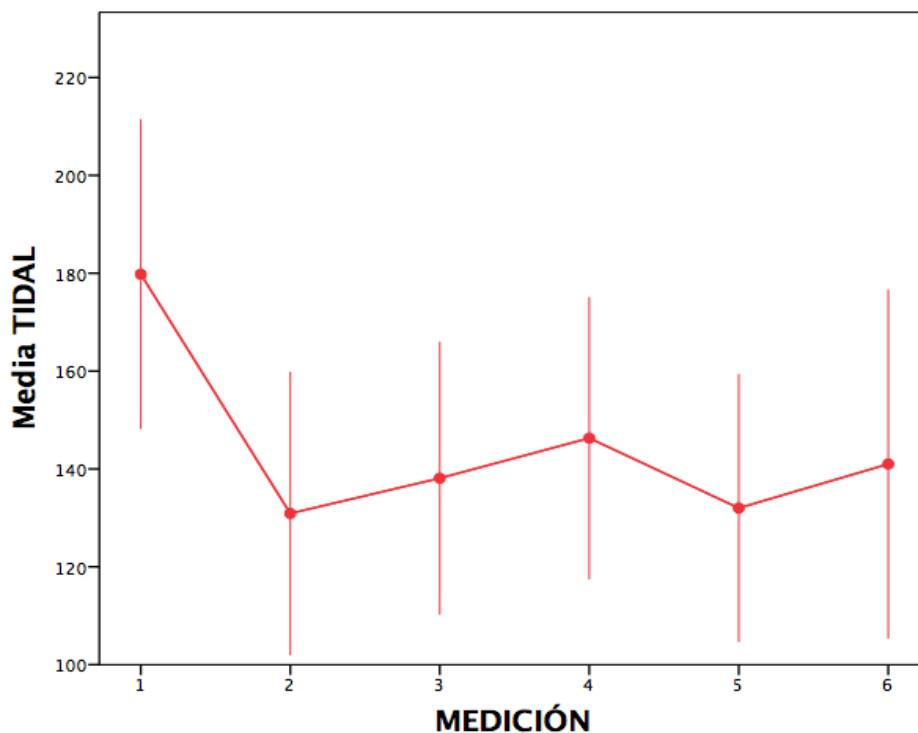


Figura 13. Oscilación de las medias del parámetro volumen tidal (ml). Mediciones: 1 basal, 2 PIA 20 mmHg, 3 fasciotomía de oblicuo izquierdo, 4 fasciotomía oblicuo derecho, 5 PIA 20 mmHg, 6 Fasciotomía de línea alba. Diferencias no significativas excepto medición basal con resto de mediciones.

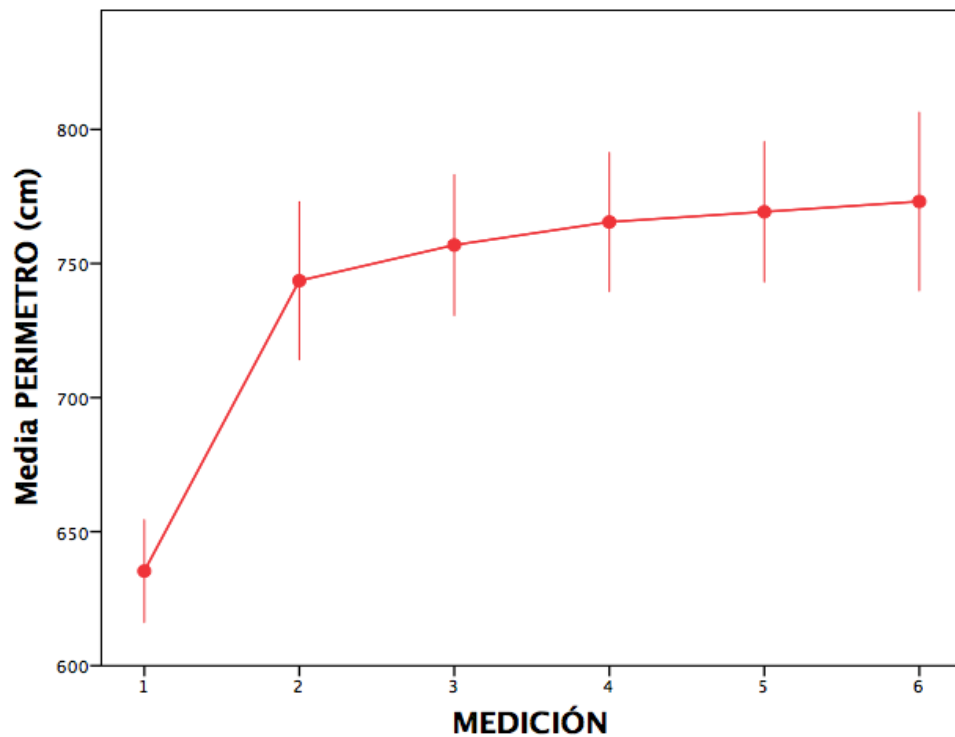


Figura 14. Oscilación de las medias del parámetro perímetro abdominal (cm) en cada medición. Mediciones: 1 basal, 2 PIA 20 mmHg, 3 fasciotomía de oblicuo izquierdo, 4 fasciotomía oblicuo derecho, 5 PIA 20 mmHg, 6 Fasciotomía de línea alba. Diferencias no significativas excepto medición basal con resto de mediciones

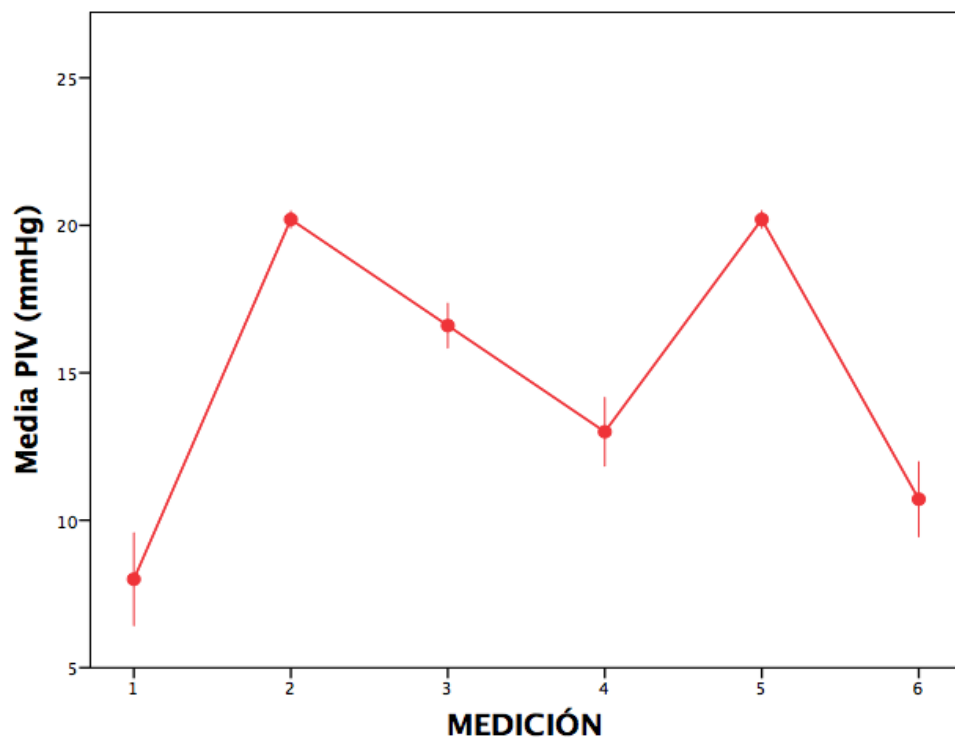


Figura 15. Oscilación de las medias del parámetro presión intravesical (PIV, mmHg) en cada medición. Mediciones: 1 basal, 2 PIA 20 mmHg, 3 fasciotomía de oblicuo izquierdo, 4 fasciotomía oblicuo derecho, 5 PIA 20 mmHg, 6 Fasciotomía de línea alba. Significación estadística $p < 0.001$.

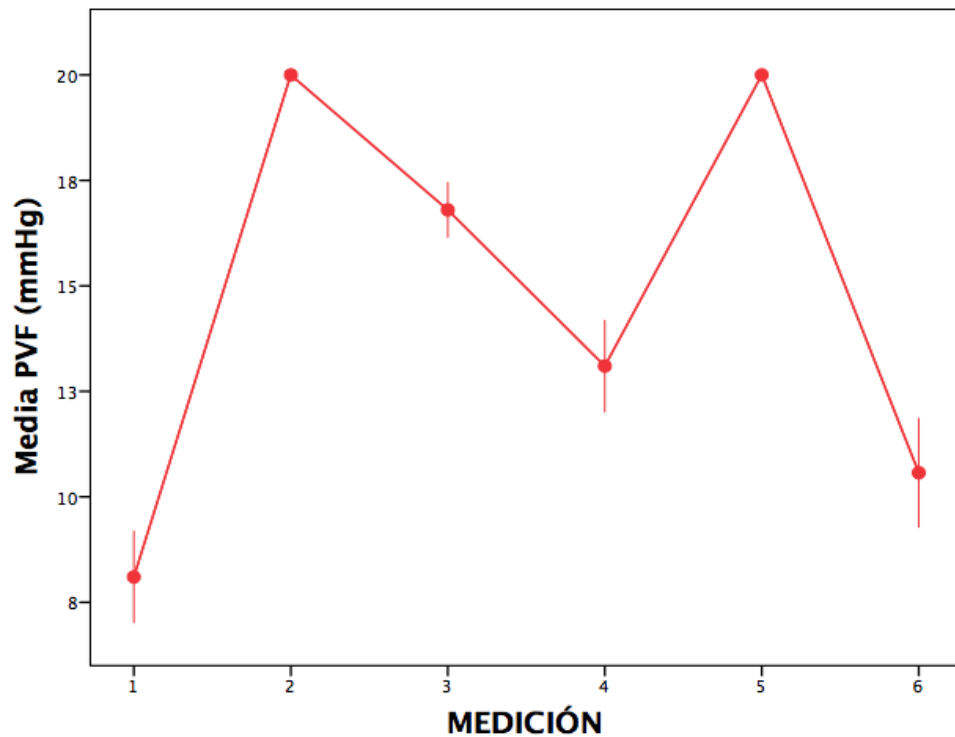


Figura 16. Oscilación de las medias del parámetro presión venosa femoral (PVF, mmHg) en cada medición. Mediciones: 1 basal, 2 PIA 20 mmHg, 3 fasciotomía de oblicuo izquierdo, 4 fasciotomía oblicuo derecho, 5 PIA 20 mmHg, 6 Fasciotomía de línea alba. Significación estadística $p < 0.001$.

Respecto a la repercusión individual de cada fasciotomía podemos observar en la Figura 17 cómo la fasciotomía del oblicuo izquierdo disminuyó la PIA una media del 18%, la fasciotomía del oblicuo derecho un 19%, ambas fasciotomías de manera conjunta un 36%, y la fasciotomía de la línea alba un 47% respecto a la PIA inicial de 20 mmHg ($p < 0,001$).

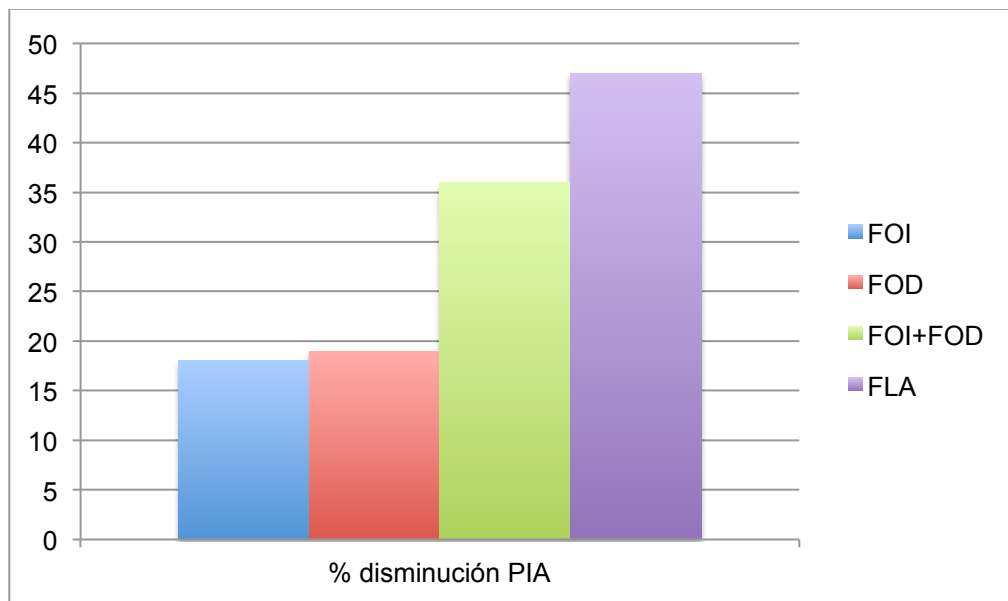


Figura 17. Disminución (en %) de la PIA en relación con cada fasciotomía. FOI, fasciotomía de oblicuo izquierdo; FOD, fasciotomía oblicuo derecho, FOI+FOD, fasciotomía de ambos oblicuos, FLA Fasciotomía de línea alba.

7. Discusión

7.1. Efectividad de las fasciotomías en el manejo de la HIA / SCA

Los resultados de esta tesis doctoral demuestran que la realización de fasciotomías secuenciales permite una disminución gradual de la presión abdominal en una situación simulada mecánica de hipertensión abdominal en un modelo animal. Desde un punto de vista fisiológico los resultados que hemos obtenido son coherentes con la funcionalidad que aporta cada músculo en la pared abdominal.

La sección de las fascias de los oblicuos externos disminuyeron progresivamente un 18 y un 19% la PIA (en conjunto un 37%). Dado que con esas fasciotomías se contrarresta su tracción lateral, pero permanecen intactas las fuerzas de tracción de los otros dos grupos musculares profundos (músculo oblicuo interno y sobre todo el músculo transverso del abdomen) no esperaríamos unas disminuciones mayores en las presiones que las que hemos obtenido al realizar esta maniobra.

La sección de la línea alba consigue en cambio una descompresión súbita abdominal con una reducción del 47% de la PIA. De nuevo el resultado que hemos obtenido es coherente con la biomecánica de la pared abdominal, ya que al inestabilizar el punto de anclaje de los músculos que realizan la tracción lateral de la pared abdominal se produce una ineficacia súbita de su función.

Si comparamos ahora nuestros resultados con los estudios experimentales y clínicos mencionados en la introducción de esta tesis, podemos ver que los resultados son similares (tabla 4). Voss (38) obtiene una reducción del 31.6% en el valor de la PIA partiendo de unas presiones realizando una fasciotomía de la fascia del oblicuo externo similar a la realizada en nuestro trabajo a nivel de los oblicuos. En cambio el grupo de Pittsburg (39, 40) realiza en los trabajos una transección completa de la musculatura lateral de la pared abdominal, seccionando ambos oblicuos y el músculo transverso del abdomen, obteniendo una reducción final de la PIA del 83% en su primer trabajo mediante abordaje

abierto, y del 44% en el segundo trabajo mediante abordaje endoscópico. Por último Leppäniemi consigue una reducción de la PIA en pacientes en situación real de SCA del 34% mediante la realización de la fasciotomía de la línea alba. En la tabla 4 podemos ver las diferencias entre estos estudios

Tabla 4 . Comparativa de los resultados de nuestro trabajo con los trabajos clínicos y experimentales publicados previamente

Estudio	Maniobra quirúrgica	n	PIA de inicio	Reducción PIA
Gómez , experimental	Oblicuos	10	20	36%
Gómez , experimental	Línea alba	7	20	47%
Voss , experimental	Oblicuos	6	25	31.6%
O'Mara , experimental	Oblicuos	8	26	83%
Barnes , experimental	Oblicuos	6	25	44%
Leppäniemi , clínico	Línea alba	10	31	34%

La diferencia más llamativa entre estudios sería la diferencia entre el primer estudio del grupo de Pittsburg y el segundo. La diferencia de casi el 40% de variación en la reducción de la PIA en los resultados entre los dos estudios probablemente radicaría en la forma de abordaje para realizar la fasciotomía lateral. En el estudio de Voss se hace un abordaje abierto, seccionando inicialmente la piel para a continuación seguir profundizando hasta realizar las secciones de los 3 vientres musculares laterales, quedando como única capa íntegra de pared el peritoneo (con una mínima resistencia tisular). En cambio O'Mara realiza un abordaje endoscópico en el que se preserva tanto el peritoneo como los planos cutáneo y tejido celular subcutáneo, con una resistencia tisular mucho mayor. De esta manera asumimos que la diferencia de reducción de presiones se puede atribuir a la resistencia de la capa más superficial de la pared abdominal.

La otra diferencia entre parámetros que puede llamar la atención es la diferencia de casi un 10% en la disminución de la PIA entre nuestro estudio experimental y el estudio clínico de Lepänniemi al realizar la fasciotomía de la línea alba. Esta diferencia sería explicable por un punto fundamental: la situación real de la pared abdominal en los pacientes del estudio finlandés, tratándose de pacientes en situación de fracaso multiorgánico y con sobrecarga de volumen y edema de pared (y por tanto con una distensibilidad más limitada de sus tejidos), frente a una situación de normalidad tisular en los cerdos empleados en nuestro estudio experimental (43). En un apartado más adelante profundizaremos sobre la importancia de la *compliance* de la pared abdominal en los pacientes críticos.

7.2. Consecuencias funcionales de las fasciotomías

La fasciotomía lateral del oblicuo externo no presenta a priori consecuencias funcionales, de acuerdo a los resultados publicados de series largas de separación anterior de componentes en los últimos años (44, 45). La continuidad de los dos músculos profundos al oblicuo interno son suficientes para mantener una buena función de la pared abdominal, presentándose de manera excepcional cierta debilidad lateral a nivel de las fasciotomías. Este abombamiento con repercusión estética se denomina “bulging”, y no tendría ninguna repercusión funcional. De manera similar a la realizada en este estudio, pero con abordaje endoscópico, la fasciotomía propuesta por Voss tendría los mismos resultados funcionales que la nuestra.

Respecto a la necesidad o no del abordaje endoscópico, consideramos que el abordaje mínimamente invasivo que realizamos permite una fasciotomía segura y rápida, evitando el incremento de costes que supone la endoscopia y el aumento del tiempo quirúrgico. La disección del espacio areolar avascular presente entre el músculo oblicuo externo y músculo oblicuo interno se puede realizar de manera rápida y segura a ciegas con disección roma, empleando una torunda o el dedo para el despegamiento del plano, sin aportar ventajas al realizar esta maniobra con visualización endoscópica del espacio. Algo similar

ocurre con la maniobra de la fasciotomía, ya que el corte que realizamos al apoyar la tijera parcialmente abierta en cada borde de la fasciotomía del oblicuo externo es un corte limpio y sin riesgo de lesión de ninguna estructura anatómica relevante.

A nivel clínico en el Hospital Universitario Puerta de Hierro se ha realizado esta técnica de fasciotomía mínimamente invasiva en 7 pacientes entre los años 2015 y 2016 (resultados pendientes de publicación). En dos casos se ha tratado de evisceraciones de laparotomía media en el postoperatorio inmediato, y en los otros 5 se ha asociado a una técnica de separación posterior de componentes con liberación de músculo transverso para tratar de cerrar completamente la línea media. El tiempo quirúrgico medio para la realización de la fasciotomía bilateral fue de 9.5 min (\pm 1,5 min) sin presentar complicaciones quirúrgicas en el postoperatorio. Con un seguimiento medio de 14 meses ninguno de estos 7 pacientes presentan ninguna limitación funcional a nivel abdominal.

Las fasciotomías laterales propuestas por el grupo de Pittsburg no tendrían aplicabilidad práctica, ya que producirían dos grandes problemas de difícil manejo quirúrgico. Por un lado darían lugar a una eventración bilateral amplia al seccionar en su totalidad la musculatura de la pared abdominal lateral, para cuya reparación sería necesaria una técnica de eventroplastia de separación posterior de componentes y liberación de músculo transverso con malla hiperextendida hasta la región lumbar. Y por otro lado a nivel funcional tendría consecuencias catastróficas en el paciente, al producirse una denervación completa de la pared al seccionarse los pedículos neurovasculares que discurren sobre el músculo transverso (desde el ramo intercostal D7 hasta el nervio subcostal D12). Por ello consideramos que pese a ser una técnica eficaz desde el punto de vista de manejo de la pared abdominal, consideramos que no sería aplicable al humano y que se beneficiaría en su lugar de la realización de un laparostoma convencional.

En lo que respecta a la fasciotomía de la línea alba, sí que funcionalmente tendría una consecuencia directa. La realización de la fasciotomía media implica la creación de una eventración planificada de línea media que deberá ser reparada una vez que el paciente haya sobrevivido al episodio crítico. Respecto a la reparación del abdomen abierto que supone la realización de un laparostoma, la fasciotomía de la línea alba presenta claras ventajas, como el evitar el daño de los planos musculares por exposición ambiental, y el evitar la formación del granuloma que se produce en superficie en las laparostomías. Por tanto parece lógico plantear en primer lugar la realización de una fasciotomía sobre los músculos oblicuos externos, que no va a producir ninguna solución de continuidad que requiera una reparación posterior definitiva, y dejar como segunda opción la fasciotomía de la línea alba en caso de fracaso de la fasciotomía de los oblicuos.

7.3. Nuevos conceptos: Importancia de la compliance abdominal

Como hemos podido ver en los distintos estudios presentados, la respuesta física de cada individuo a las maniobras de fasciotomía varía, y esta variación se debe a la compliance abdominal (43). La compliance de la pared se define como una medida de la capacidad del abdomen de expandirse, lo que depende de la elasticidad de la pared abdominal y del diafragma. Se debe expresar como el cambio en el volumen intrabdominal por cada cambio en la PIA ($\text{mL}[\text{mmHg}]^{-1}$). La relación de presión y volumen abdominal parece ser lineal hasta presiones de 12-15 mmHg, incrementando de manera exponencial a partir de ese punto. La compliance abdominal en situaciones de reposo basales viene definida por la PIA y el volumen abdominal basal, el perímetro interno y externo de la cavidad abdominal incluida su área de superficie y su forma, el volumen de estiramiento máximo, la presencia de comorbilidades previas y las propiedades individuales de la fascia y el plano muscular(46).

Por lo tanto la compliance abdominal es diferente y debe ser valorada de una manera distinta respecto a la compliance de la pared y del diafragma, con sus

características elásticas propias. La compliance abdominal es uno de los parámetros menos valorados en los pacientes críticos, a pesar de jugar un papel fundamental en el entendimiento de los efectos deletéreos de la desadaptación del volumen abdominal con la PIA y la perfusión orgánica. Malbrain et al (47) insisten en la necesidad de establecer definiciones, métodos de medición y recomendaciones específicas de manejo para aquellos pacientes con compliance abdominal baja.

7.4. Modelos experimentales de HIA

Como ya hemos mencionado previamente, nuestro modelo experimental de HIA es un modelo mecánico y no biológico, ya que fuerza la distensión de una pared abdominal sana con gas y no refleja los cambios en la compliance de la pared abdominal y la compliance abdominal en si misma que se producen en el paciente crítico. No obstante el modelo mecánico propuesto de neumoperitoneo mantenido ha sido empleado previamente en otros estudios fisiológicos de manera satisfactoria(48-50).

Obtener un modelo experimental adecuado de HIA / SCA es muy complicado. Se ha propuesto la infusión intrabdominal de un medio inerte no absorbible como aceite, combinado con relajación neuromuscular para producir la HIA aguda(38). Estudios preliminares mostraron con este modelo que la PIA disminuye espontáneamente en 30-40 minutos por adaptación elástica de la pared abdominal, para permanecer estable durante más de una hora sin añadir más aceite. No obstante con este modelo también se obvia la situación clínica deletérea del paciente crítico.

Bloomfield et al (51) describió el uso de presión externa negativa continua en un modelo porcino en el que la PIA se había incrementado con la infusión de una solución de polietilenglicol. Se evidenció un descenso significativo de la PIA tras la aplicación de la presión negativa, pero no se especificó de manera clara cuando líquido adicional era necesario para mantener una PIA elevada mantenida previamente al procedimiento.

Hasta la fecha ningún modelo experimental ha podido reproducir con fidelidad la situación real de alteración de la compliance abdominal en los pacientes críticos. No obstante los modelos físicos empleados con la infusión tanto de gas como de líquidos inertes han demostrado su utilidad para la realización de este tipo de estudios experimentales.

7.5. Aplicación clínica de los resultados de nuestro estudio.

La técnica descrita en esta tesis doctoral es sencilla y rápida, fácilmente reproducible, requiere de una mínima cantidad de material para su realización, y los resultados obtenidos nos permiten proponerla como la primera opción quirúrgica ante una situación de fracaso de manejo médico de una HIA mantenida o un SCA establecido.

Podría incluso realizarse en la propia cama de cuidados intensivos en situación de inestabilidad extrema del paciente, al precisarse únicamente paños y batas estériles y una caja básica de instrumental quirúrgico.

Su aplicación podría reducir los costes de ingreso de estos pacientes al evitar la realización de un laparostoma, la morbilidad asociada a este procedimiento, y en caso de ser suficiente la realización de las fasciotomías de los oblicuos para manejar la PIA no sería necesario ningún reingreso posterior para la reparación de la pared abdominal, ahorrando los riesgos, las complicaciones y el costo que precisaría el ingreso para la eventroplastia definitiva tras la realización de la fasciotomía de la línea alba.

En la figura 18 podemos ver el esquema de manejo del paciente con HIA / SCA en función a los resultados que hemos obtenido en nuestro estudio.

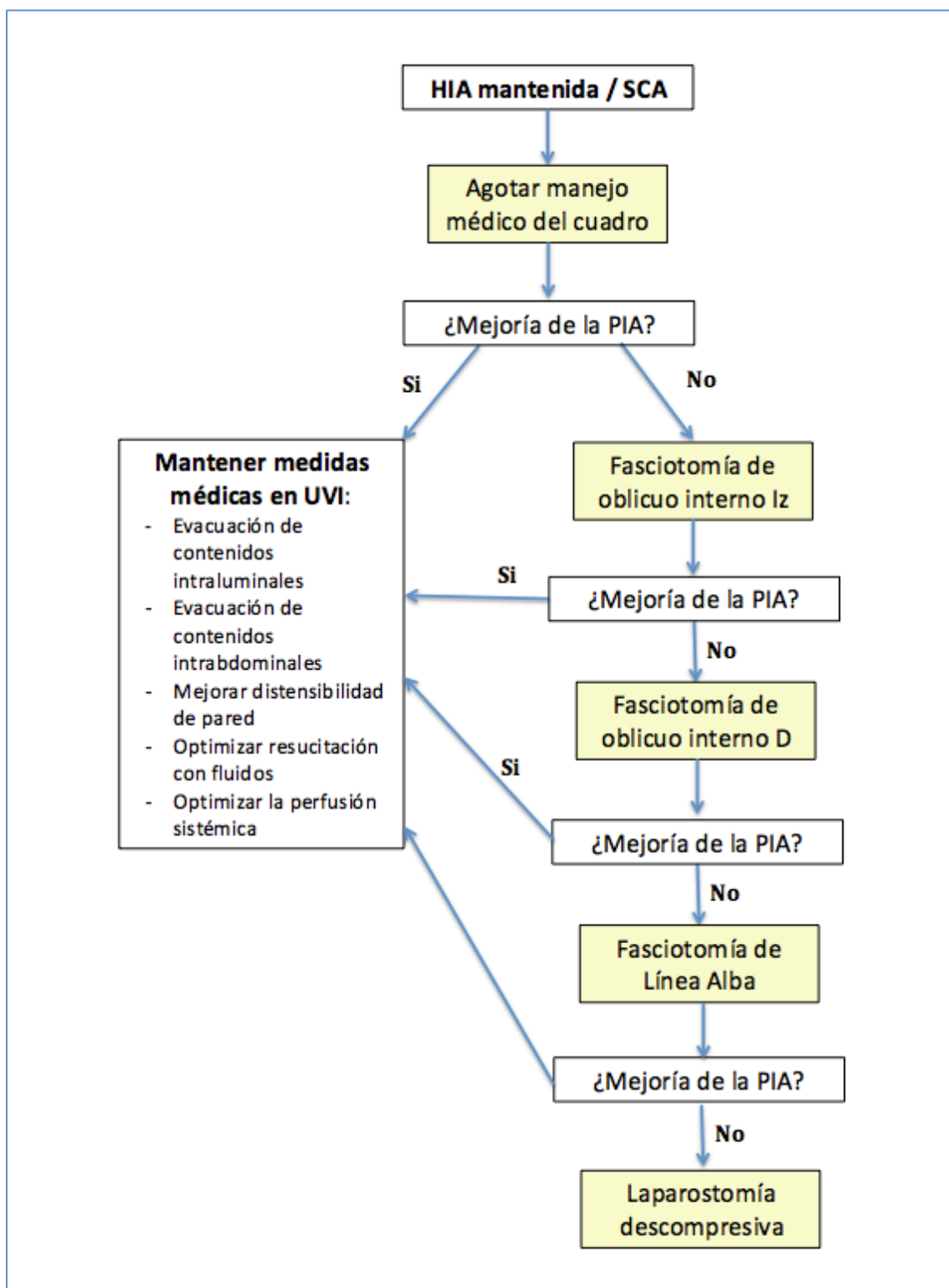


Figura 18. Propuesta de manejo de la HIA mantenida / SCA en función de los resultados de nuestro estudio.

7.6. Limitaciones del estudio

Como ya hemos especificado previamente, se trata de un modelo experimental mecánico que no reproduce la situación biológica exacta del paciente crítico que ha desarrollado un síndrome compartimental abdominal. No obstante ningún modelo experimental ha logrado reproducir de manera precisa esta situación.

Aunque el modelo porcino ha sido caracterizado como la mejor imitación de la fisiología y la anatomía humana, su valor como estudio experimental es limitado y debe ser seguido por un estudio clínico adecuado en humanos.

8. Conclusión

La fasciotomía secuencial de oblicuo externo izquierdo, oblicuo externo derecho y de la línea alba con abordaje abierto mínimamente invasivo permite manejar adecuadamente un cuadro simulado de hipertensión abdominal en un modelo porcino, con una disminución significativa de la presión abdominal tras cada fasciotomía.

9. Bibliografía

1. Garcia-Urena MA, Lopez-Monclus J. Manual de cirugía de pared abdominal compleja. Madrid: Editorial CTO; 2017.
2. Askar OM. Surgical anatomy of the aponeurotic expansions of the anterior wall. *Ann R Coll Surg Eng.* 1977;59:313-21.
3. Korenkov M BA, Koebke J, Lefering R, Tiling T, Troidi H. Biomechanical and morphological types of the linea alba and its possible role in the pathogenesis of midline incisional hernia. *Eur J Surg.* 2001(167):909-14.
4. Malbrain ML. Different techniques to measure intra-abdominal pressure (IAP): time for a critical re-appraisal. *Intensive care medicine.* 2004;30(3):357-71.
5. Malbrain ML, Chiumello D, Pelosi P, Wilmer A, Brienza N, Malcangi V, et al. Prevalence of intra-abdominal hypertension in critically ill patients: a multicentre epidemiological study. *Intensive care medicine.* 2004;30(5):822-9.
6. De Waele JJ, Leppaniemi AK. Intra-abdominal hypertension in acute pancreatitis. *World journal of surgery.* 2009;33(6):1128-33.
7. Keskinen P, Leppaniemi A, Pettila V, Piilonen A, Kemppainen E, Hynninen M. Intra-abdominal pressure in severe acute pancreatitis. *World journal of emergency surgery : WJES.* 2007;2:2.
8. Diebel L, Saxe J, Dulchavsky S. Effect of intra-abdominal pressure on abdominal wall blood flow. *The American surgeon.* 1992;58(9):573-5; discussion 5-6.
9. Cheatham ML. Abdominal compartment syndrome: pathophysiology and definitions. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine.* 2009;17:10.
10. Rosas JM, Soto SN, Aracil JS, Cladera PR, Borlan RH, Sanchez AV, et al. Intra-abdominal pressure as a marker of severity in acute pancreatitis. *Surgery.* 2007;141(2):173-8.
11. Fietsam R, Jr., Villalba M, Glover JL, Clark K. Intra-abdominal compartment syndrome as a complication of ruptured abdominal aortic aneurysm repair. *The American surgeon.* 1989;55(6):396-402.

12. Castellanos G, Pinero A, Fernandez JA. [Intra-abdominal hypertension and abdominal compartment syndrome. What should surgeons know and how should they manage these entities?]. *Cirugia espanola*. 2007;81(1):4-11.
13. Kron IL, Harman PK, Nolan SP. The measurement of intra-abdominal pressure as a criterion for abdominal re-exploration. *Annals of surgery*. 1984;199(1):28-30.
14. Malbrain ML, Cheatham ML, Kirkpatrick A, Sugrue M, Parr M, De Waele J, et al. Results from the International Conference of Experts on Intra-abdominal Hypertension and Abdominal Compartment Syndrome. I. Definitions. *Intensive care medicine*. 2006;32(11):1722-32.
15. Coccolini F, Biffl W, Catena F, Ceresoli M, Chiara O, Cimbanassi S, et al. The open abdomen, indications, management and definitive closure. *World journal of emergency surgery : WJES*. 2015;10:32.
16. Chopra SS, Wolf S, Rohde V, Freimann FB. Pressure Measurement Techniques for Abdominal Hypertension: Conclusions from an Experimental Model. *Critical care research and practice*. 2015;2015:278139.
17. Malbrain ML, Cheatham ML, Kirkpatrick A, Sugrue M, De Waele J, Ivatury R. Abdominal compartment syndrome: it's time to pay attention! *Intensive care medicine*. 2006;32(11):1912-4.
18. Gecelter G, Fahoum B, Gardezi S, Schein M. Abdominal compartment syndrome in severe acute pancreatitis: an indication for a decompressing laparotomy? *Digestive surgery*. 2002;19(5):402-4; discussion 4-5.
19. Pupelis G, Austrums E, Snippe K, Berzins M. Clinical significance of increased intraabdominal pressure in severe acute pancreatitis. *Acta chirurgica Belgica*. 2002;102(2):71-4.
20. De Waele JJ, Hoste E, Blot SI, Decruyenaere J, Colardyn F. Intra-abdominal hypertension in patients with severe acute pancreatitis. *Critical care*. 2005;9(4):R452-7.
21. Cheatham ML, Safcsak K. Is the evolving management of intra-abdominal hypertension and abdominal compartment syndrome improving survival? *Critical care medicine*. 2010;38(2):402-7.
22. McCosh AJ. II. The Treatment of General Septic Peritonitis. *Annals of surgery*. 1897;25(6):687-97.

23. Open Abdomen Advisory P, Campbell A, Chang M, Fabian T, Franz M, Kaplan M, et al. Management of the open abdomen: from initial operation to definitive closure. *The American surgeon*. 2009;75(11 Suppl):S1-22.
24. Barker DE, Green JM, Maxwell RA, Smith PW, Mejia VA, Dart BW, et al. Experience with vacuum-pack temporary abdominal wound closure in 258 trauma and general and vascular surgical patients. *Journal of the American College of Surgeons*. 2007;204(5):784-92; discussion 92-3.
25. Leppaniemi A. The hostile abdomen--a systematic approach to a complex problem. *Scandinavian journal of surgery : SJS : official organ for the Finnish Surgical Society and the Scandinavian Surgical Society*. 2008;97(3):218-9.
26. Regner JL, Kobayashi L, Coimbra R. Surgical strategies for management of the open abdomen. *World journal of surgery*. 2012;36(3):497-510.
27. Mattox KL. Introduction, background, and future projections of damage control surgery. *The Surgical clinics of North America*. 1997;77(4):753-9.
28. Boele van Hensbroek P, Wind J, Dijkgraaf MG, Busch OR, Goslings JC. Temporary closure of the open abdomen: a systematic review on delayed primary fascial closure in patients with an open abdomen. *World journal of surgery*. 2009;33(2):199-207.
29. Robin-Lersundi A, Vega Ruiz V, Lopez-Monclus J, Cruz Cidoncha A, Abella Alvarez A, Melero Montes D, et al. Temporary abdominal closure with polytetrafluoroethylene prosthetic mesh in critically ill non-trauma patients. *Hernia : the journal of hernias and abdominal wall surgery*. 2015;19(2):329-37.
30. Brock WB, Barker DE, Burns RP. Temporary closure of open abdominal wounds: the vacuum pack. *The American surgeon*. 1995;61(1):30-5.
31. Fitzgerald JE, Gupta S, Masterson S, Sigurdsson HH. Laparostomy management using the ABThera open abdomen negative pressure therapy system in a grade IV open abdomen secondary to acute pancreatitis. *International wound journal*. 2013;10(2):138-44.
32. Petersson U, Acosta S, Bjorck M. Vacuum-assisted wound closure and mesh-mediated fascial traction--a novel technique for late closure of the open abdomen. *World journal of surgery*. 2007;31(11):2133-7.

33. Scott BG, Feanny MA, Hirshberg A. Early definitive closure of the open abdomen: a quiet revolution. *Scandinavian journal of surgery : SJS : official organ for the Finnish Surgical Society and the Scandinavian Surgical Society*. 2005;94(1):9-14.
34. Karmali S, Evans D, Laupland KB, Findlay C, Ball CG, Bergeron E, et al. To close or not to close, that is one of the questions? Perceptions of Trauma Association of Canada surgical members on the management of the open abdomen. *The Journal of trauma*. 2006;60(2):287-93.
35. Fabian TC, Croce MA, Pritchard FE, Minard G, Hickerson WL, Howell RL, et al. Planned ventral hernia. Staged management for acute abdominal wall defects. *Annals of surgery*. 1994;219(6):643-50; discussion 51-3.
36. Albanese AM. Las incisiones de descarga en el tratamiento de las grandes eventraciones supraumbilicales. *Pren Med Argent*. 1966;53:2222-7.
37. Ramirez OM, Ruas E, Dellon AL. "Components separation" method for closure of abdominal-wall defects: an anatomic and clinical study. *Plastic and reconstructive surgery*. 1990;86(3):519-26.
38. Voss M, Pinheiro J, Reynolds J, Greene R, Dewhirst M, Vaslef SN, et al. Endoscopic components separation for abdominal compartment syndrome. *American journal of surgery*. 2003;186(2):158-63.
39. O'Mara MS, Papasavas PK, Newton ED, Caushaj PF. Modified separation of parts as an intervention for intraabdominal hypertension and the abdominal compartment syndrome in a swine model. *Plastic and reconstructive surgery*. 2004;114(7):1842-5.
40. Barnes GS, Papasavas PK, O'Mara MS, Urbandt J, Hayetian FD, Gagne DJ, et al. Modified extraperitoneal endoscopic separation of parts for abdominal compartment syndrome. *Surgical endoscopy*. 2004;18(11):1636-9.
41. Leppaniemi AK, Hienonen PA, Siren JE, Kuitunen AH, Lindstrom OK, Kempainen EA. Treatment of abdominal compartment syndrome with subcutaneous anterior abdominal fasciotomy in severe acute pancreatitis. *World journal of surgery*. 2006;30(10):1922-4.
42. Leppaniemi A. Surgical management of abdominal compartment syndrome; indications and techniques. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine*. 2009;17:17.

43. Malbrain ML, De Laet I, De Waele JJ, Sugrue M, Schachtrupp A, Duchesne J, et al. The role of abdominal compliance, the neglected parameter in critically ill patients - a consensus review of 16. Part 2: measurement techniques and management recommendations. *Anaesthesiology intensive therapy*. 2014;46(5):406-32.
44. Kumar R, Shrestha AK, Basu S. Giant midline abdominal incisional herniae repair through combined retro-rectus mesh placement and components separation: experience from a single centre. *Hernia : the journal of hernias and abdominal wall surgery*. 2014;18(5):631-6.
45. Lisiecki J, Kozlow JH, Agarwal S, Ranganathan K, Terjimanian MN, Rinkinen J, et al. Abdominal wall dynamics after component separation hernia repair. *The Journal of surgical research*. 2015;193(1):497-503.
46. De Keulenaer B, Regli A, De Laet I, Roberts D, Malbrain ML. What's new in medical management strategies for raised intra-abdominal pressure: evacuating intra-abdominal contents, improving abdominal wall compliance, pharmacotherapy, and continuous negative extra-abdominal pressure. *Anaesthesiology intensive therapy*. 2015;47(1):54-62.
47. Malbrain ML, Roberts DJ, De Laet I, De Waele JJ, Sugrue M, Schachtrupp A, et al. The role of abdominal compliance, the neglected parameter in critically ill patients - a consensus review of 16. Part 1: definitions and pathophysiology. *Anaesthesiology intensive therapy*. 2014;46(5):392-405.
48. Benninger E, Laschke MW, Cardell M, Holstein JH, Seifert B, Keel M, et al. Compartment pressure of the rectus sheath accurately reflects intra-abdominal pressure in a porcine model. *The Journal of surgical research*. 2010;161(2):295-300.
49. Skoog P, Horer TM, Nilsson KF, Norgren L, Larzon T, Jansson K. Abdominal hypertension and decompression: the effect on peritoneal metabolism in an experimental porcine study. *European journal of vascular and endovascular surgery : the official journal of the European Society for Vascular Surgery*. 2014;47(4):402-10.
50. Kaussen T, Srinivasan PK, Afify M, Herweg C, Tolba R, Conze J, et al. Influence of two different levels of intra-abdominal hypertension on bacterial translocation in a porcine model. *Annals of intensive care*. 2012;2 Suppl 1:S17.

51. Bloomfield GL, Ridings PC, Blocher CR, Marmarou A, Sugerman HJ. A proposed relationship between increased intra-abdominal, intrathoracic, and intracranial pressure. Critical care medicine. 1997;25(3):496-503.

Anexo I

Anexo I: Secuencia fotográfica del experimento



Imagen A1. Inserción de la aguja de Veres en el hipocondrio izquierdo del animal



Imagen A2. Veres colocada, inmediatamente antes de inicial la insuflación del neumoperitoneo



Imagen A3. Medición del perímetro tras creación de neumoperitoneo a 20 mmHg



Imagen A4. Incisión en flanco izquierdo para realización de la primera fasciotomía



Imagen A5. Fasciotomía de oblicuo externo derecho en dirección craneal hacia reborde costal



Imagen A6. Fasciotomía de oblicuo externo derecho en dirección caudal hacia pliegue inguinal



Imagen A7. Detalle del surco de la depresión cutánea sobre la zona de la fasciotomía



Imagen A8. Medición del perímetro abdominal tras la primera fasciotomía

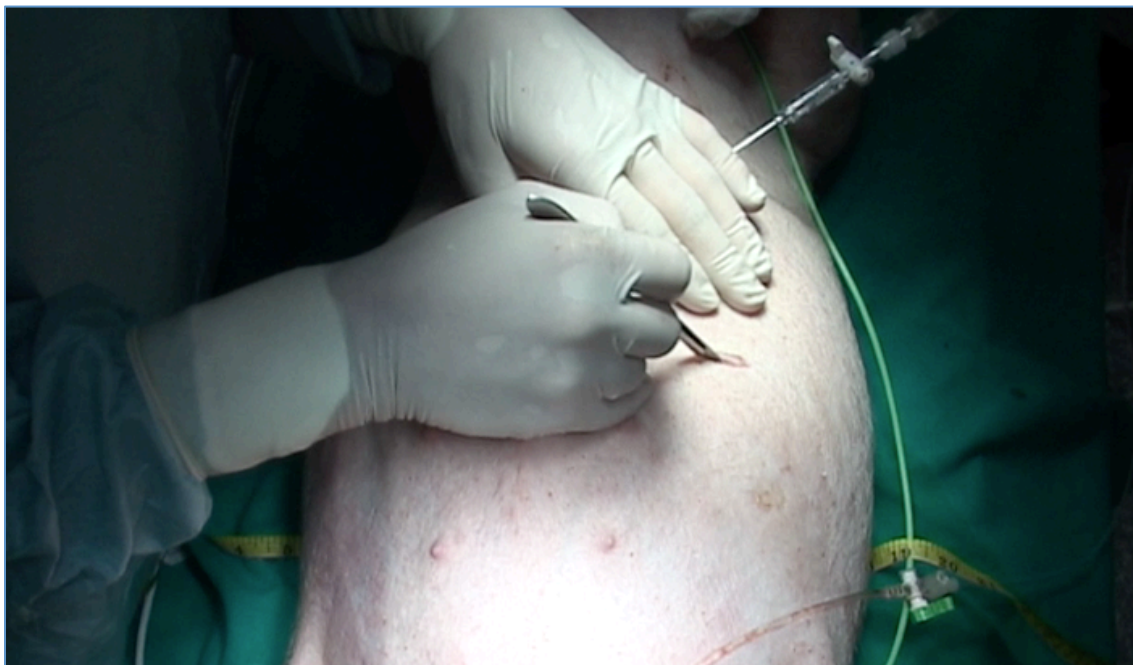


Imagen A9. Incisión cutánea en flanco izquierdo para la realización de la segunda fasciotomía



Imagen A10. Fasciotomía de oblicuo externo izquierdo en dirección craneal hacia reborde costal



Imagen A11. Medición del perímetro abdominal tras la segunda fasciotomía

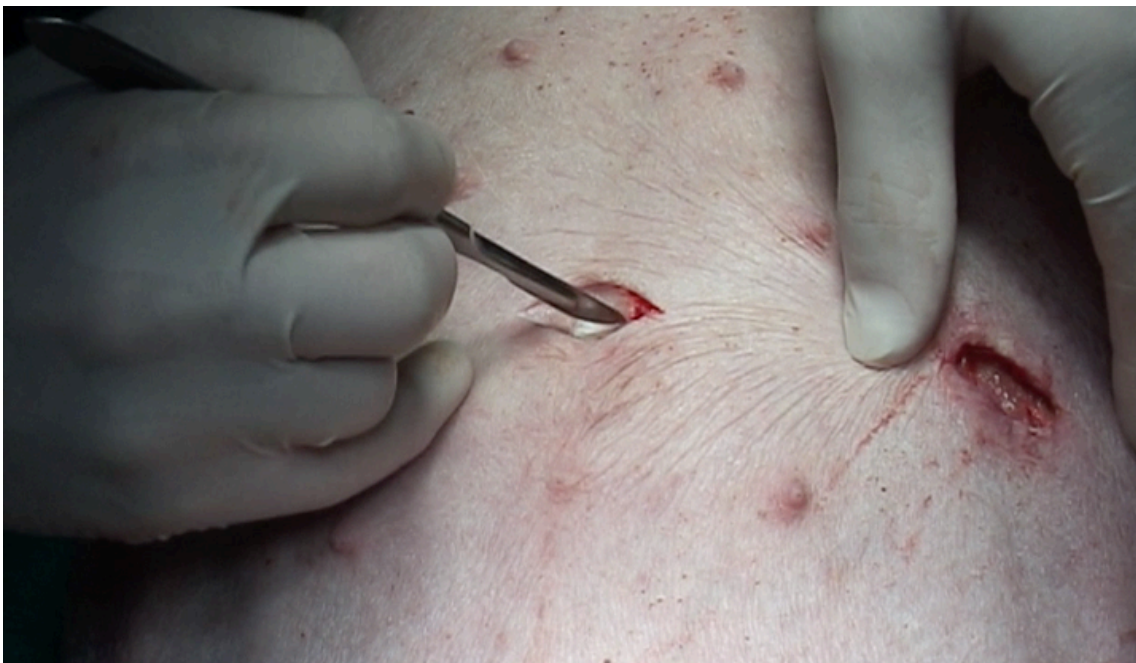


Imagen A12. Incisión cutánea en línea media para realizar la fasciotomía de línea alba



Imagen A13. Fasciotomía de la línea alba en dirección craneal hacia xifoides



Imagen A14. Fasciotomía de la línea alba en dirección caudal hacia pubis



Imagen A15. Medición tras la fasciotomía de línea alba



Imagen A16. Visión general del abdomen con las tres incisiones transversales para la realización de las fasciotomías. Se aprecia el relieve que produce el hundimiento cutáneo sobre la depresión de las fasciotomías